# 차 례


머 리 말 ........................................ 3

제 1 장. 전자요소 ........................................ 4

제 1 절. 저항기 ........................................ 4
제 2 절. 축전기 ........................................ 11
제 3 절. 선륜과 변성기 ........................................ 19
제 4 절. 반도체 2 극소자 ........................................ 29
제 5 절. 반도체 3 극소자 ........................................ 42
[실습] 회로시험기에 의한 측정 ........................................ 53
[실습] 회로시험기에 의한 반도체소자의 검사방법 ........................................ 59
제 6 절. 집적회로 ........................................ 62

제 2 장. 전원회로 ........................................ 69

제 1 절. 정류회로 ........................................ 70
제 2 절. 평활려파회로 ........................................ 75
제 3 절. 직류전압안정회로 ........................................ 80

제 3 장. 증폭회로 ........................................ 86

제 1 절. 증폭회로의 기초 ........................................ 86
제 2 절. 저항-용량결합증폭회로 ........................................ 95
제 3 절. 부귀환증폭회로 ........................................ 98
제 4 절. 전력증폭회로 ........................................ 101
[실습] 저주파증폭기만들기 ........................................ 106
제 5 절. 고주파회로 ........................................ 115

제 4 장. 수자회로의 기초 ........................................ 128

제 1 절. 수체계 ........................................ 128
제 2 절. 기본론리회로 ........................................ 135
제 3 절. 부진기 ........................................ 147
제 4 절. 방아쇠회로 ........................................ 154

**제 5 장. 수자회로** ........................................ 165
제 1 절. 등록기 ........................................ 165
제 2 절. 연산회로 ........................................ 169
제 3 절. 부호기 ........................................ 175
제 4 절. 해신기 ........................................ 178
제 5 절. 셈회로 ........................................ 186
［실습］ 수자회로의 동작고찰 ........................ 196

**제 6 장. 천연색 TV 의 원리** ........................................ 201
제 1 절. 천연색 TV 에 대한 일반지식 ................. 201
제 2 절. 천연색 TV 의 일반원리 ..................... 207

# 머 리 말

위대한 령도자 **김정일**원수님께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《전자공학을 발전시키는것은 기술혁명을 보다 높은 수준에서 실현하기 위하여 나서는 중요한 과업입니다.》

전자공학은 인민경제 모든 부문에서 생산공정의 정보화, 현대화를 실현하며 인민들의 물질문화생활을 더욱 향상시키는데서 매우 중요한 역할을 한다.

오늘 전자공학은 무선방송, TV, 무선전신 등은 물론 기계공업, 금속공업, 화학공업, 전력공업을 비롯하여 인민경제 모든 부문에서 널리 리용되고있으며 그 의의와 역할은 날로 더욱더 높아지고있다.

우리들이 일상생활에서 흔히 보게 되는 TV나 록음기, 콤퓨터 등은 다 전자공학발전의 산물들이다.

경애하는 수령 **김일성**대원수님과 위대한 령도자 **김정일**원수님의 현명한 령도에 의하여 우리 나라에서는 전자공학이 빨리 발전하였으며 자립적이며 현대적인 전자공업기지가 마련되였다.

그리하여 오늘 인민경제의 기술적진보와 나라의 과학기술발전에서 요구되는 여러가지 전자요소와 기구, 장치들을 우리의 자재, 우리의 기술, 우리의 힘으로 생산보장하고있으며 최첨단기술의 종합체인 인공지구위성까지 쏴올렸다.

오늘 우리 나라의 현실은 새 세대들이 전자공학에 대한 지식과 기술기능을 소유할것을 요구하고있다.

위대한 령도자 **김정일**원수님께서는 현대과학기술발전의 요구에 맞게 중학교에서부터 학생들에게 전자공학에 대한 기초지식을 배워주도록 모든 조건을 마련해주시였다.

우리들은 이 과목에서 배우게 되는 전자공학의 기초지식을 튼튼히 다져나감으로써 선군시대의 역군으로 자신을 준비해나가야 한다.

# 제1장. 전자요소

위대한 령도자 **김정일**원수님께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《전자공학부문에서는 전자재료를 개발하고 그 순도를 높이며 집적회로를 비롯한 전자요소와 전자계산기를 개발하는데서 나서는 과학기술적문제를 풀며 자동화공학부문에서는 자동조종리론을 발전시키고 자동화요소와 장치, 자동조종체계를 개발하는데서 나서는 과학기술적문제를 풀어야 합니다.》

전자요소에 대한 기술지식을 습득하는것은 전자요소의 생산과 리용, 전자장치의 운영을 위해서 매우 중요한 문제로 나선다.

전자요소에는 많은 종류들이 있지만 여기서는 저항기, 축전기, 선륜과 변성기, 반도체2극소자와 3극소자, 집적회로에 대한 기초지식을 학습하게 된다.

## 제1절. 저항기

### 1. 저항기란 무엇인가

저항기란 일정한 크기의 전기저항을 가지도록 비저항이 큰 전자재료로 만든 전자요소를 말한다.

저항기는 일반적으로 비저항이 큰 니크롬선이나 망가닌선, 탄소가루, 금속막 등과 같은 재료를 가지고 일정한 규격제품으로 만든다.

전자회로에서 저항기는 어떤 역할을 하는가?

① 전자회로에서 저항기는 전류를 제한 및 조절한다.

옴의 법칙에 의하면 전류 I는 전압 U에 비례하고 저항 R에는 거꿀비례한다. 만일 회로에 걸리는 전압이 일정하다고 하면 전류는 저항값에 따라서만 변하게 된다. 즉 저항값이 클수록 전류의 세기는 작아지게 된다.

이와 같은 원리를 리용하여 전자장치들에서 회로에 흐르는 전류를 필요한 크기로 제한하거나 조절하는데 쓴다.

② 전자회로에서 저항기를 리용하여 전압강하를 일으켜 요구되는 낮은 전압을 얻는다.

저항기로 전류 I가 흐르면 U=IR로 표시되는 전압이 이 저항기의 량끝사이에 걸리게 되며 그 저항기와 직렬로 련결된 회로의 다른 부분에는 그만큼 낮아진 전압이 걸리게 된다. 즉 저항기는 회로의 전압을 낮추는 작용을 한다.

만일 저항기의 저항값을 변화시킨다면 회로의 다른 부분에 걸리는 전압이 변하게 되므로 회로에서 전압을 조절하는 작용을 하게 된다.

저항기들이 여러개 직렬로 련결되여있는 경우 회로의 전압은 매개 저항기들에 그의 저항값에 비례하여 나누어 걸리게 되는데 이와 같은 원리를 전자회로에서 전압분할에 리용한다.

실례로 $R_1$=10Ω, $R_2$=30Ω인 저항기들이 직렬로 련결된 회로에 12V의 전압이 공급되였다면 $R_1$에는 3V, $R_2$에는 9V의 전압이 걸리게 된다. 즉 저항기는 전압을 분할하는 작용도 한다.

이밖에도 저항기는 전자회로에서 여러가지 작용을 한다.

저항기의 특성을 평가하는 물리적량들에는 어떤것들이 있는가?

저항기는 정격저항, 허용편차, 정격전력 등과 같은 량들에 의하여 특징지어진다. 이와 같은 특성량들의 의미는 다음과 같다.

**정격저항**- 공장에서 생산할 때 표준설계에서 정해진 저항값이다.

**허용편차**- 정격저항과 실지 공장에서 생산되는 저항기의 저항값 사이에 허용되는 차이를 말한다.

공장에서 생산하는 저항기의 저항값과 정격저항은 일정한 차이를 가지게 된다. 이 경우 정격저항과 실지 생산된 저항기의 저항값 사이에 허용할수 있는 편차를 주는데 이것을 **허용편차**라고 한다. 허용편차는 %로 표시한다.

일반적으로 쓰이는 저항기의 허용편차는 ±5%, ±10%, ±20%이다. 특수하게 허용편차가 ±0.1%, ±0.2%, ±0.5%, ±1%, ±2%로 작은 높은 정밀도의 저항기들도 있다.

**정격전력**- 저항값이 허용편차를 넘지 않으면서 저항기가 소비할수 있는 최대전력을 말한다.

저항기로 전류가 흐르면 저항기에는 열이 발생한다. 즉 공급된 전력의 일부가 열에네르기로 전환되여 손실된다.

이때 손실되는 전력은 저항기로 흐르는 전류의 세기의 두제곱

과 저항기의 저항값에 비례한다. 즉 전류의 세기를 I, 저항기의 저항값을 R라고 하면 손실전력 P는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$P = I^2 R$$

만일 저항기에서 손실되는 전력이 지나치게 크면 저항기에 생기는 열이 미처 빠지지 못하고 저항기가 타버리게 된다. 때문에 저항기마다 허용할수 있는 손실전력의 최대값이 정해져있다. 이것이 정격전력이다. 이 정격전력을 초과하면 저항기가 못쓰게 된다.

## 2. 저항기의 분류

저항기는 그의 저항값을 변화시킬수 있는가 없는가에 따라 크게 고정저항기와 가변저항기로 나눈다.

### 1) 고정저항기

고정저항기란 그의 저항값을 마음대로 변화시킬수 없는 저항기를 말한다.

고정저항기는 만드는 방법에 따라 피막저항기, 체적저항기, 선저항기, 반도체저항기 등으로 나눈다.(그림 1-1)

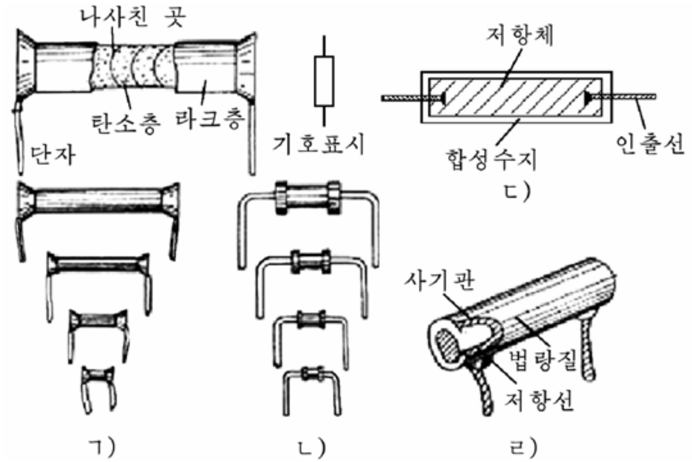



**그림 1-1. 고정저항기**

ㄱ-탄소피막저항기, ㄴ-금속피막저항기, ㄷ-체적저항기, ㄹ-선저항기

① 피막저항기

피막저항기는 사기봉우에 저항체재료로서 비저항이 매우 큰 탄소가루, 금속가루, 금속산화물가루 등의 저항재료를 입혀 만든 저항기이다.

피막으로 리용한 저항체재료에 따라 탄소피막저항기, 붕탄소피막저항기, 금속피막저항기, 금속산화물저항기 등으로 나눈다.

피막저항기는 수십Ω으로부터 수십MΩ까지의 넓은 범위의 저항값으로 만들어진다.

이 저항기는 체적이 작고 주파수특성이 좋으며 온도에 의한 영향이 작은 우점이 있다. 결함은 정밀도와 안정도가 나쁜것이다.

② 체적저항기

비저항이 큰 탄소나 금속가루를 합성수지와 같은 점착제와 반죽한 다음 일정한 크기로 압착하여 만든 저항기이다. 저항기의 저항값은 탄소가루와 합성수지의 량을 조절하여 보장한다.

이 저항기는 전류용량이 크고 과부하에도 잘 견디는 우점이 있는 반면에 안정도가 낮고 주파수특성이 나쁜 결함이 있다.

③ 선저항기

저항체재료로서 비저항이 큰 망가닌선, 콘스탄탄선, 니크롬선 등을 사기봉우에 감아서 만든 저항기이다.

저항값은 저항선의 종류, 굵기, 길이에 의하여 결정되는데 보통 수십kΩ미만이다.

선저항기는 온도에 따르는 저항값의 변화가 작고 과부하에 안정하며 정밀하게 만들수 있다. 그러므로 높은 안정도를 요구하는 회로에 쓰인다.

결함은 권선형이라는데로부터 주파수특성이 나쁘며 다량생산이 힘들고 체적이 커지는것이다.

### 2) 가변저항기

가변저항기란 일정한 범위안에서 저항값을 임의로 변화시킬수 있게 만든 저항기를 말한다.

가변저항기도 저항체재료에 따라 권선형, 피막형, 체적형으로 나누어볼수 있다.

가변저항기는 일반적으로 3개의 단자를 가지고있다.

접촉솔이 저항체를 따라 미끄러져가면 끝단자와 접촉솔(또는 중간단자)사이의 저항값이 변하게 된다.

보통 접촉솔은 저항기의 가운데단자와 련결된다.

가변저항기의 한 종류로서 반가변저항기가 있는데 이것은 전자

회로를 새로 조립하였거나 수리한 후 정확한 조종을 할 때만 저항값을 변화시키고 일반적인 운영과정에는 거의 변화시키지 않는다.(그림 1-2)

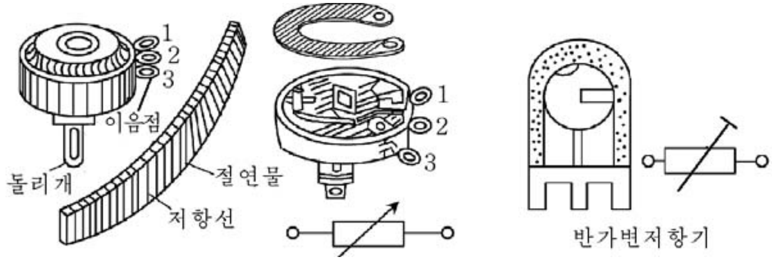



그림 1-2. 가변저항기와 반가변저항기의 구조와 기호표시

## 3. 저항기의 표시방법

### 1) 저항기의 기호표시

저항기를 전기회로도에 표시할 때는 그림 1-3과 같이 기호로 표시한다. 저항기를 표시하는 기호결에는 정격저항값을 밝혀준다. 이때 단위 Ω은 쓰지 않는다.

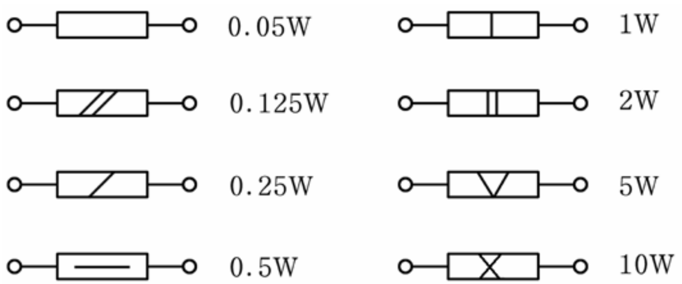



그림 1-3. 저항기의 기호표시방법

### 2) 저항기의 자호표시

저항기의 본체겉면에는 저항기의 종류와 중요정수들인 정격저항, 허용편차, 허용손실전력을 문자와 수자 또는 색갈로 표시한다.

먼저 저항기의 종류를 표시하는 자호가 한개의 문자 R와 네자리 또는 다섯자리의 수자로 표시되여있다.

저항기의 종류를 표시하는 자호 다음에는 허용손실전력, 정격저항, 허용편차의 순서로 특성량들을 단위와 함께 표시하며 마감에 잡음준위에 대한 급수를 표시한다.

**실례:** R 1017 – 0.5W – 510kΩ ± 10% – A
저항기의 종류 정격전력 정격저항 허용편차 잡음준위

이것은 탄소피막저항기로서 정격전력은 0.5W, 정격저항은 510kΩ, 허용편차는 ±10%이고 잡음준위는 A급이라는것을 표시하고있다.

그림 1-4에 저항기의 색표시실례를 보여주었다.

표 1-1을 참고하면 이 저항기의 저항값은 25kΩ±10%이다.

저항기들의 표시법을 보면 일부 저항기들은 간략표시법을 쓰고있다.

실례로 4.7kΩ을 4k7로, 5.6MΩ을 5M6으로 표시한다.

허용편차는 우리 나라 자모순서(가, 나, 다,…)로 표시한다.

실례로 470Ω±20%의 저항기를 〈K47마〉로 표시한다.

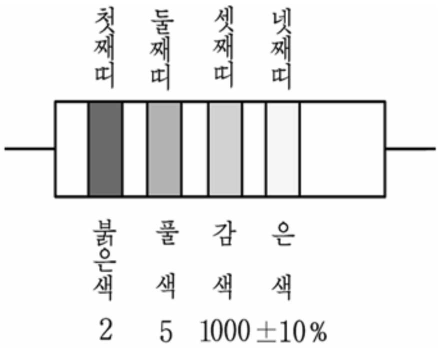



그림 1-4. 저항기의 색표시

저항기, 축전기의 색표시법 표 1-1

| 구분 / 색갈 | 첫번째 띠/점 | 두번째 띠/점 | 세번째 띠/점 | 네번째 띠/점 |
|---|---|---|---|---|
| 검은색 | – | 0 | $10^{0}$ | ±1% |
| 밤 색 | 1 | 1 | $10^{1}$ | |
| 붉은색 | 2 | 2 | $10^{2}$ | |
| 감 색 | 3 | 3 | $10^{3}$ | |
| 누런색 | 4 | 4 | $10^{4}$ | |
| 풀 색 | 5 | 5 | $10^{5}$ | |
| 푸른색 | 6 | 6 | $10^{6}$ | |
| 보라색 | 7 | 7 | $10^{7}$ | |
| 재 색 | 8 | 8 | $10^{8}$ | |
| 흰 색 | 9 | 9 | $10^{9}$ | |
| 금 색 | – | – | $10^{-1}$ | ±5% |
| 은 색 | – | – | $10^{-2}$ | ±10% |
| 바탕색 | – | – | – | ±20% |

현재 리용되고있는 반가변저항기들은 100, 200의 형식으로 표시한다.

실례로 103으로 표시된 반가변저항기의 저항값은 $10 \times 10^3$ 즉 10㏀을 의미하며 203이라면 $20 \times 10^3$ 즉 20㏀을 의미한다.

## 4. 저항기의 선택과 리용

저항기를 선택할 때에는 요구되는 정격저항과 정격전력을 알고 있어야 한다.

정격저항과 정격전력은 일반적으로 회로도에 표시되여있지만 새로 회로를 설계하여 제작하거나 회로도에 지적되여있지 않는 경우에는 자체로 계산하여 정해야 한다.

공장에서 저항기를 생산할 때에는 모든 저항값에 해당한 저항기를 다 생산하는것이 아니라 국규에 의해 제정된 규격의 저항기만 생산하게 된다. 그러므로 자기가 요구하는 저항값과 제일 가까운 규격의 저항기를 선택하거나 저항기들을 직렬 또는 병렬로 련결하여 요구되는 저항값을 맞추어야 한다.

저항기를 직렬로 련결하면 저항값이 매개 저항기들의 저항값을 더한 값과 같아진다.

실례로 5㏀의 저항기 2개를 직렬로 련결하면 10㏀의 저항기로 된다. 그러므로 보다 큰 저항값을 가지는 저항기가 요구되는 경우 직렬련결을 한다.

저항기의 선택에서 또한 중요한것은 알맞는 허용손실전력의 저항기를 선택하는것이다.

허용손실전력이 모자라면 저항기가 견디지 못하고 타버리며 반면에 허용손실전력이 지내 큰것을 선택하면 저항기의 크기와 질량이 커지는 현상이 생긴다.

정격전력을 크게 해야 할 필요성이 있을 때나 저항기의 저항값을 작게 할 필요가 있을 때에는 저항기를 병렬로 련결하여 쓰는 방법도 있다.

실례로 10㏀의 저항기가 요구될 때 20㏀의 저항기 2개를 병렬로 련결하면 된다. 이때 정격전력은 2배로 커진다.

저항기는 전자회로에서 전류의 제한 및 조절, 전압낮춤, 전압분할 및 조절, 신호의 위상변화, 전원전압의 평활 등에 리용된다.

**련습문제**

1. 6V의 전원에 6Ω의 저항기를 각각 련결할 때 거기로 얼마만 한 전류가 흐르겠는가? 그리고 이때 저항기에서 소비되는 전력은 각각 얼마이겠는가?
2. 12V전원에 저항값이 각각 10Ω, 20Ω, 30Ω인 저항기를 직렬로 련결하였다. 매개 저항기에 걸리는 전압을 구하여라.
3. 정격전력이 0.5W, 정격저항이 500Ω인 저항기로는 최대로 얼마만 한 전류가 흐를수 있겠는가?
4. 1W, 10kΩ의 저항기들로 2W, 5kΩ의 저항기를 만들자면 어떻게 하여야 하겠는가?
5. 510kΩ±10%의 저항기는 실제로 어느 정도의 범위에서 저항값을 가질수 있는가?
6. 그림 1-5와 같이 저항기에 색띠가 표시되여있다. 이 저항기의 정격저항과 허용편차는 얼마인가?

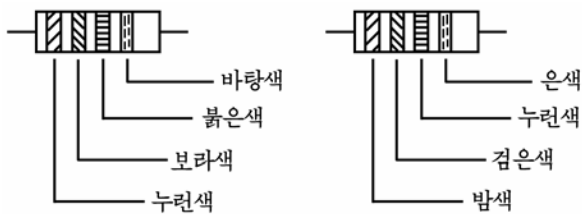



그림 1-5. 저항기의 색표시 례

## 제2절. 축전기

### 1. 축전기란 무엇인가

축전기란 두개의 금속판사이에 절연물을 넣어 전기를 저축할수 있게 만든 전자요소를 말한다.

전기량을 담아둔다는 의미에서 축전기와 축전지를 같이 볼수 있겠지만 그의 구조와 동작원리, 용도에서는 완전히 구별된다.

축전지는 전기에네르기를 다른 형태의 에네르기(례하면 화학적 에네르기)로 전환하여 저축했다가 요구될 때 다시 전기에네르기로 전환하여 내보내는 방법으로 동작하지만 축전기에서는 전기에네르기를 전기량의 형태로 저축했다가 내보내게 된다.

여기로부터 그의 구조에서 근본적인 차이를 가진다.

축전기는 전자회로에서 어떤 작용을 하는가?

① 축전기는 전자회로에서 전기량을 저축하는 작용을 한다.

축전기가 얼마만 한 전기량을 저축할수 있는가를 표시하는 량을 **전기용량**이라고 부르며 문자 C로 표시한다.

축전기의 전기용량 C는 금속판의 면적이 클수록, 절연물의 두께가 얇을수록, 절연물의 질이 좋을수록 커진다.

축전기는 그림 1-6과 같이 물통의 중간에 고무막을 넣은것과 비유할수 있다.

여기서 고무막은 절연물, 물통은 금속판, 수압은 전압, 물의 흐름은 전류로 대비할수 있다.

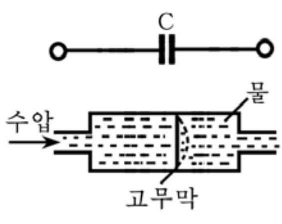



그림 1-6. 축전기의 모형

그림과 같이 물이 찬 관에 수압을 가할 때 고무막의 면적이 클수록, 고무막의 두께가 얇을수록 그리고 고무의 질(늘어나는 성질)이 좋을수록 더 많은 물이 관안으로 흐른다.

여기서 고무막이 늘어나는것을 축전기가 충전되는것으로, 물통안으로 들어오는 물량을 축전기에 충전되는 전기량으로, 관으로 물이 흐르는것을 충전전류로 대비할수 있다.

수압이 가해지지 않으면 고무막이 제자리로 오면서 통로안에 들어왔던 물이 관을 통해 밖으로 흐른다. 이것은 축전기의 방전과 대비할수 있다.

전기용량의 기본단위로는 F(파라드)를 쓴다. F는 너무 큰 단위이므로 실천에서는 이보다 작은 단위들인 μF, nF, pF를 쓴다.

이 단위들사이에는 다음의 관계가 있다.

$$1\mu F = 10^{-6}F$$
$$1nF = 10^{-9}F = 10^{-3}\mu F$$
$$1pF = 10^{-12}F = 10^{-6}\mu F = 10^{-3}nF$$

② 축전기는 직류는 통과시키지 않고 교류만 통과시키는 작용을 한다.

축전기의 두 극판사이에는 절연물이 놓여있으므로 직류전압을 걸어주면 처음에 충전전류가 흐르고 충전이 끝나면 더는 전류가 흐르지 못한다. 즉 전류를 통과시키지 않는다.

그러나 교류를 통과시킨다. 이것을 그림 1-7과 같은 모형과 비유하여 설명해보자.

여기서 피스톤을 좌우로 이동시키면 관으로는 방향이 번갈아 변하면서 물이 흐르게 된다.

피스톤을 교류전원으로, 물의 흐름을 전류로 보면 축전기에 교류전원을 련결했을 때 회로에 교류전류가 흐르는 리치와 같다.

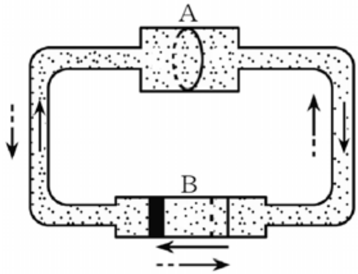


그림 1-7. 축전기가 교류를 통과시키는 원리

축전기가 교류를 통과시키는것은 극판사이로 전하가 이동해서가 아니라 축전기의 충방전현상에 의하여 실현된다.

축전기의 이와 같은 성질을 리용하여 전자회로에서 전원의 평활 및 려파, 직류차단회로들사이의 결합에 많이 쓰인다.

③ 축전기는 교류에 대하여 일정한 저항작용을 한다.

교류에 대한 축전기의 저항은 저항기가 가지는 저항과 구별하기 위하여 **용량성저항**이라고 부르며 문자 $X_C$로 표시한다.

축전기의 교류저항이 무효저항으로 되는것은 축전기에 교류전류가 흐를 때 교류의 반주기동안에는 충전되여 전기에네르기를 축적하고 다음 반주기동안에는 방전되면서 전기에네르기를 전원 또는 부하에 넘겨주기때문이다.

용량성저항을 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

웃식으로부터 용량성저항은 주파수가 높고 축전기의 용량이 클수록 작아진다는것을 알수 있다.

그러므로 축전기의 용량이 크고 주파수가 높을수록 교류전류는 축전기를 잘 통과하게 된다.

축전기의 작용에서 중요한 성질의 하나는 교류회로에서 전압보다 전류의 위상을 90° 앞서게 한다는것이다.(그림 1-8)

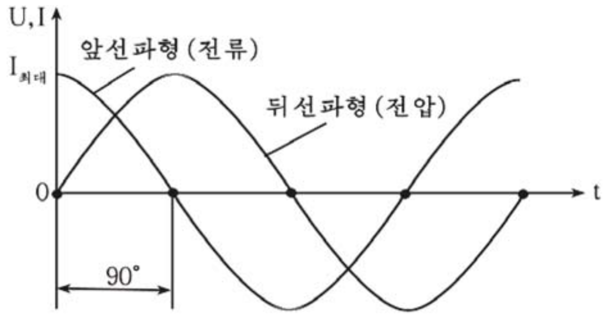



그림 1-8. 축전기에서 전류와 전압의 위상관계

즉 축전기에 교류전류를 흘려보내면 전압이 최대로 될 때 전류는 령으로 되고 전류가 최대로 될 때 전압은 령으로 된다.

축전기의 이 용량성저항작용을 리용하여 축전기를 교류전류의 제한 및 조절에 리용한다.

축전기의 특성을 평가하는 물리적량들에는 어떤것들이 있는가?

축전기의 특성은 정격용량과 허용편차, 내압 등의 특성량들에 의하여 특징지어진다. 이 특성량들의 의미는 다음과 같다.

**정격용량**- 이것은 공장에서 생산할 때 표준설계에서 규정된 전기용량값이다.

**허용편차**- 정격용량과 실제용량사이의 차이를 퍼센트(%)로 표시한 값이다.

**내압**- 축전기는 일정한 크기이상의 전압을 걸어주면 절연물이 견디지 못하고 파괴된다. 때문에 축전기마다 파괴되지 않고 정상적으로 동작할수 있는 최대전압이 정해져있는데 이 전압을 내압이라고 한다.

내압은 사용전압과 시험전압, 파괴전압으로 나누는데 축전기들의 겉에 표시한 전압은 사용전압이다.

## 2. 축전기의 분류

축전기는 축전기의 전기용량을 변화시킬수 있는가 없는가에 따라 고정축전기와 가변축전기로 나눈다.

### 1) 고정축전기

고정축전기란 그의 전기용량의 값을 변화시킬수 없는 축전기를 말한다.

고정축전기는 어떤 절연물인가에 따라 종이축전기, 수지축전기, 사기축전기, 운모축전기, 전해축전기 등이 있다.

① 종이축전기

종이축전기는 석종이 또는 얇은 알루미니움띠를 두 극판으로 하고 그 사이에 절연종이를 끼운 다음 퉁구리로 감아서 만든 축전기이다.(그림 1-9의 ㄱ)

종이축전기는 유전체손실이 크고 용량이 안정하지 못한 결함이 있다.

종이축전기의 전기용량은 보통 수백pF로부터 수$\mu$F사이에 있다.

최근에는 종이대신 폴리스티롤, 폴리에틸렌과 같은 수지를 써서 축전기의 질을 훨씬 높이고있다.

수지축전기는 체적이 작으면서도 큰 전기용량을 가지며 용량값변화가 작고 높은 전압에서 동작할수 있는 우점이 있다.

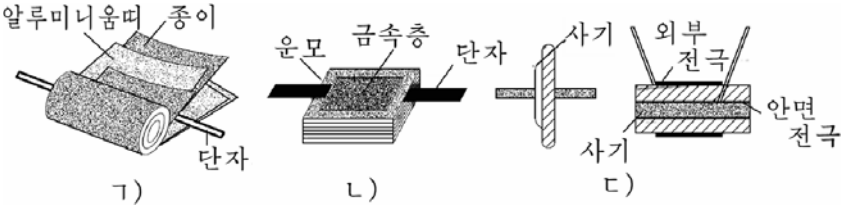



**그림 1-9. 여러가지 축전기들의 구조**

ㄱ-종이축전기, ㄴ-운모축전기, ㄷ-사기축전기

② 운모축전기

운모축전기는 유전체로서 운모를 사용한 축전기이다. 석종이나 알루미니움띠와 운모를 엇바꾸어 여러층 쌓고 량쪽에 단자를 낸 다음 그것을 수지로 압착성형하여 만든다.(그림 1-9의 ㄴ)

운모축전기는 전기용량이 작다. 보통 수십~수천pF정도이다.

운모축전기는 내압이 높고 고주파손실이 작으므로 고주파회로에 많이 쓰인다.

③ 사기축전기

사기축전기는 이산화티탄을 포함한 특수한 사기를 유전체로 리용한 축전기이다. 형태는 원판형 또는 원통형으로 만든다.(그림 1-9의 ㄷ)

원판형에서는 아래웃면에 은을 증착하여 금속전극을 만들었고

원통형에서는 통의 안과 겉에 은을 증착하여 전극을 만들었다.

사기축전기는 체적이 작으면서 용량을 크게 할수 있으며 습기와 온도의 영향을 적게 받는다. 유전체로서 산화티탄을 쓴 경우는 0.01~수$\mu$F정도의 전기용량을 가진다.

④ 전해축전기

전해축전기는 유전체로서 알루미니움판을 붕산이나 붕산암모니움과 같은 전해액속에 넣고 전기분해할 때 생기는 산화알루미니움의 얇은 막을 쓴 축전기이다.

이 막은 절연성이 좋고 유전률이 크면서도 대단히 얇기때문에 축전기의 전기용량을 매우 크게 할수 있다.



그림 1-10. 전해축전기의 구조

전해액속에 넣어 산화시킨 알루미니움판과 산화시키지 않은 알루미니움판사이에 전해액에 적신 절연종이를 끼우고 말아서 통속에 넣고 밀봉하였다.(그림 1-10)

전해축전기는 다른 축전기들과는 달리 〈+〉극과 〈-〉극이 엄격히 구별되여있는것이 특징이다.

전해축전기의 용량은 수~수천$\mu$F 또는 그 이상으로서 매우 큰 값을 가진다. 그러나 이 축전기는 일반적으로 내압이 낮은것이 결함이다. 전해축전기를 쓸 때에는 반드시 내압과 극성을 고려해야 한다.

### 2) 가변축전기

가변축전기는 한쪽 극판을 고정시키고 다른쪽 극판은 움직일수 있게 하여 마주한 두 극판의 면적을 변화시킴으로써 전기용량을 변화시키도록 만든 축전기이다. 유전체로는 보통 공기를 리용한다.(그림 1-11)

여러장의 알루미니움판을 병렬로 묶어서 고정극판으로 하고 역시 여러장의 알루미니움판을 묶은 가동전극판이 고정전극사이로 드나들수 있게 만든다.

손잡이를 돌리면 가동극판이 회전하면서 마주한 극판의 면적이 변하므로 전기용량이 변한다.

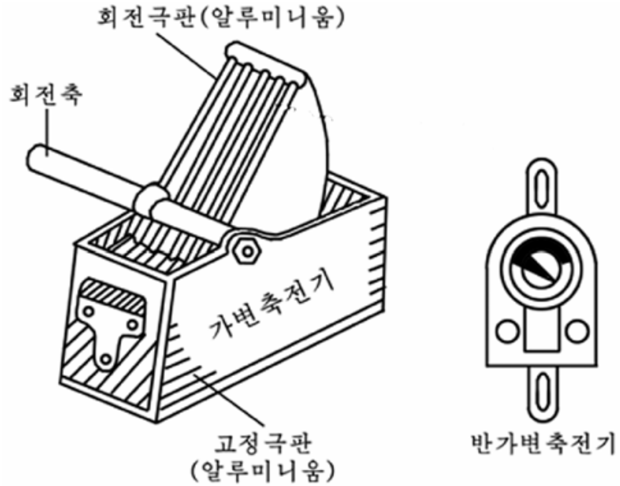



그림 1-11. 가변축전기와 반가변축전기의 구조

때로는 이런 가변축전기를 한개의 축에 2개 또는 3개씩 련결하여 쓰는데 이와 같은 가변축전기를 **2련** 또는 **3련가변축전기**라고 부른다.

가변축전기의 한종류로서 반가변축전기가 있다. 반가변축전기는 공장에서 회로를 조립하였거나 회로를 수리한 후 정확한 조종을 위해서만 쓰이는 축전기로서 그의 용량값 변화범위는 5～30pF정도로 작다.

## 3. 축전기의 표시방법

### 1) 축전기의 기호표시

전자회로에서 축전기는 그림 1-12와 같이 기호로 표시한다.

기호곁에는 축전기의 용량값을 밝혀준다.

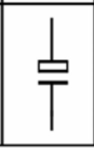
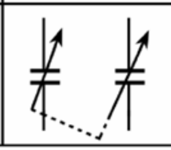
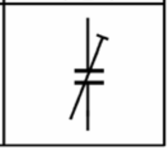
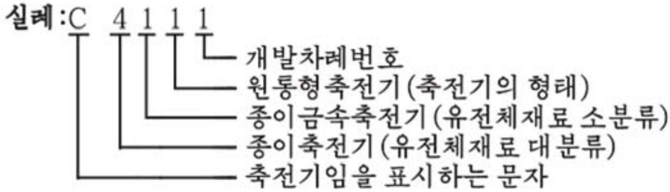
| 축전기의 종류 | 고정 축전기 | 전해 축전기 | 가변 축전기 | 2련 가변축전기 | 반가변 축전기 |
|---|---|---|---|---|---|
| 표시방법 |  |  |  |  |  |

그림 1-12. 축전기의 기호표시

### 2) 축전기의 자호표시

축전기도 저항기와 같이 문자와 수자로 그의 종류와 중요정수들을 축전기의 겉면에 자호로 표시한다.




먼저 축전기임을 표시하는 문자 C 뒤에 그의 종류를 4자리수로 표시한다.

축전기의 종류를 표시하는 자호에서 첫번째와 두번째 수자는 축전기에 쓰인 유전체재료의 종류를, 세번째 수자는 축전기의 형태를, 네번째 수자는 개발차례번호를 표시한다.

축전기의 종류를 표시하는 자호뒤에는 내압, 정격용량, 허용편차의 순서로 특성량들을 그의 단위와 함께 구분하면서 표시한다.

**실례:** C4203 - 500V - 4 700pF ± 10%

축전기의 종류 내압 정격용량 허용편차

이 자호의 의미는 종이금속축전기로서 그의 내압이 500V, 전기용량은 4 700pF이며 허용편차는 ±10%라는것이다.

### 3) 축전기의 색표시

체적이 작아서 자호를 표시할수 없는 축전기들은 저항기에서와 같이 색띠 또는 색점으로 정격용량과 허용편차를 표시한다.

색표시방법은 단위로 pF를 쓴다는것을 제외하고 기타는 저항기에서와 꼭 같다.

그림 1-13에 축전기의 색표시 실례를 보여주었다.

그림에서 보면 누런색은 4, 보라색은 7, 붉은색은 $10^2$을 표시하므로 이 축전기는 용량이 4 700pF이고 허용편차가 ±20%임을 알수 있다.

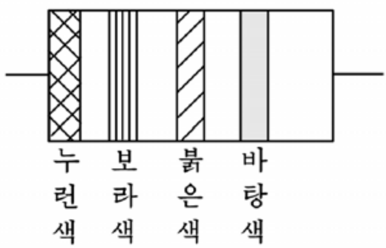



그림 1-13. 축전기의 색표시 례

#### 4) 축전기의 선택과 리용

축전기를 리용할 때에는 요구되는 용량값과 회로전압을 알고 그에 맞게 축전기를 선택하여야 한다.

축전기도 공장에서 모든 용량값으로 생산되지 않고 국규에 정해진 값의 축전기만 생산된다. 그러므로 요구되는 값과 꼭맞는 축전기가 없을 경우에는 축전기들을 직렬 또는 병렬로 련결하여 요구되는 용량값에 맞추어야 한다.

이때 주의해야 할 문제는 축전기들을 직렬로 련결하면 용량값이 작아지고 내압이 커지며 반대로 병렬로 련결하면 용량만 커지고 내압은 커지지 않는다는것이다.

실례로 10㎌의 축전기 2개를 병렬로 련결하면 20㎌로 커지고 직렬로 련결하면 5㎌로 작아진다.

축전기를 선택할 때 특히 주의를 돌려야 할것은 축전기의 내압이다. 회로에 걸리는 전압보다 내압이 큰 축전기를 써야 한다. 그렇다고 하여 필요이상 내압이 큰 축전기를 쓰면 회로에서 차지하는 축전기의 체적과 질량이 지내 커질수 있으므로 적합한것을 골라써야 한다.

#### 련습문제

1. 4700pF±20%의 축전기는 어느 범위의 용량값을 가질수 있다는것을 의미하는가?
2. 10㎌의 용량을 가지는 축전기가 있다. 주파수가 60Hz인 교류회로에서 축전기는 얼마만 한 용량성저항을 가지는가?
3. 0.1㎌는 몇 pF인가? 또한 4.7nF는 몇 pF인가?
4. 정격용량이 0.2㎌이고 내압이 500V인 축전기들만 있다. 이 축전기들로 1 000V의 전압이 걸리는 회로에서 0.1㎌의 용량을 가지게 하려면 어떻게 련결해야 하겠는가?

## 제3절. 선륜과 변성기

### 1. 선 륜

#### 1) 선륜이란 무엇인가

선륜이란 일정한 형태로 전기줄을 여러번 감아 필요한 유도도를 가지도록 만든 전자요소를 말한다.

먼저 그림 1-14와 같은 회로를 실험하여보자.

그러면 전자회로에서 선륜은 어떤 작용을 하는가?

스위치를 넣으면 넣는 즉시 불이 켜지지 않고 조금 지나서 불이 켜지는것을 관찰할수 있다.

이것은 회로에 선륜이 들어있기때문이다.

이것을 그림의 ㄴ)와 같은 수차와 비교할수 있다. 뽐프가 돌아가는 첫순간에 수차는 관성에 의하여 인차 돌아가지 못하고 조금 후에 돌면서 물이 흐른다.

이와 류사하게 선륜이 들어있는 회로에서 스위치를 넣을 때 전등에 불이 인차 켜지지 않고 조금 후에 켜지는것은 선륜에 전류의 증가를 방해하는 작용이 있기때문이다.

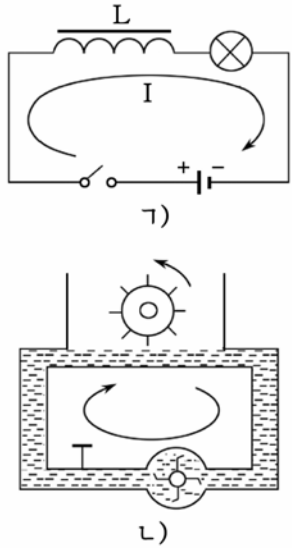



**그림 1-14. 선륜의 작용을 보여주는 실험회로(ㄱ)와 모형 (ㄴ)**

다음은 스위치를 열 때 전등불이 꺼지는것을 관찰할수 있다. 이것은 뽐프전동기의 전원을 꺼도 수차는 관성에 의하여 일정한 시간 계속 돌면서 물이 계속 흐르는것과 류사하다.

이와 같이 선륜은 전류가 감소하는것도 방해한다.

그러면 선륜이 전류가 증가하거나 감소하는것 즉 전류의 변화를 어떻게 방해하는가?

선륜에 전류가 흐르면 선륜주위에 자기마당이 생기게 된다.

전류의 세기와 방향이 변하면 자기마당의 세기와 방향도 변한다. 변하는 자기마당속에 놓인 도체에는 유도기전력이 발생하므로 선륜에 교류전류가 흐르면 선륜에는 기전력이 유기된다.

이 기전력의 크기와 방향은 항상 전류의 변화를 방해하도록 생긴다.

이런 현상을 **자체유도현상**이라고 부르며 이때 생기는 기전력을 **자체유도기전력**이라고 부른다.

선륜에 생기는 자체유도기전력의 방향은 항상 전원기전력의 방향과 반대이다.

선륜이 전류의 변화를 방해하는것은 바로 이 자체유도기전력때문이다. 선륜에 유기되는 자체유도기전력의 크기는 선륜으로 흐르는 교류전류의 세기와 변화속도에 비례하며 선륜자체에도 관계된다. 여기서 선륜에 관계되는 물리적량을 **자체유도도** 또는 간단히 **유도도**라고 부르며 문자 L로 표시한다. 이것을 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\varepsilon = -L\frac{di}{dt}$$

선륜의 유도도 L은 선륜의 직경이 클수록, 권회수가 많을수록 커지며 선륜속에 철심이 있으면 훨씬 더 커진다.

유도도의 기본단위는 H(헨리)이며 이보다 작은 단위들인 mH, $\mu$H도 쓴다. 이 단위들사이에는 다음의 관계가 있다.

$$1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$$

선륜은 전류의 변화를 방해하므로 교류전류에 대하여 저항작용을 하게 된다. 교류에 대한 선륜의 저항은 선륜의 자체유도기전력때문에 생긴다는 의미에서 **유도성저항**이라고 부르며 문자 $X_L$로 표시한다.

$$X_L=2\pi fL$$

이 식으로부터 유도성저항은 주파수가 높고 선륜의 유도도가 클수록 커진다는것을 알수 있다. 그러므로 선륜에서는 유도도가 크고 주파수가 높을수록 교류에 대한 저항작용이 커진다.

선륜의 유도성저항을 보여주는 회로와 그 모형을 그림 1-15에 주었다.

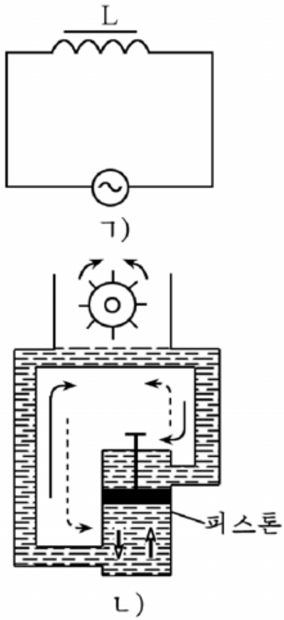



그림 1-15. 선륜의 유도성저항을 보여주는 회로(ㄱ)와 모형(ㄴ)

다음으로 선륜이 가지는 중요한 성질은 교류회로에서 전류보다 전압의 위상을 90° 앞서게 한다는것이다.(그림 1-16) 즉 선륜에 교류전류를 흘려보내면 전류가 최대로 될 때 전압은 령으로 되며 전압이 최대로 될 때 전류가 령으로 된다.

여기로부터 용량성저항과 유도성저항의 성질은 서로 반대이라는것을 알수 있다.

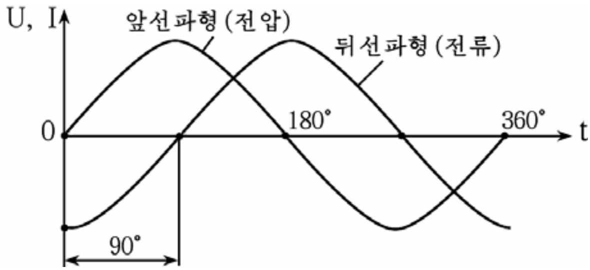



그림 1-16. 교류회로에서 선륜의 전류와 전압의 위상관계

### 2) 선륜의 분류

선륜에는 여러가지 종류가 있는데 저주파회로에 쓰이는가 고주파회로에 쓰이는가에 따라 저주파선륜과 고주파선륜으로 나눈다.

① 저주파선륜

저주파선륜에는 저주파색류선륜과 저주파변성기용선륜이 있다.(그림 1-17)

저주파색류선륜은 유도성저항을 리용하여 정류회로에서 직류는 통과시키고 교류는 통과시키지 않을 목적으로 쓰인다. 저주파색류선륜에서는 한개의 권선을 가지고있으므로 두개의 단자와 유도도를 크게 하기 위한 철심이 있다.

저주파변성기용선륜에 대하여서는 변성기에서 구체적으로 보자.

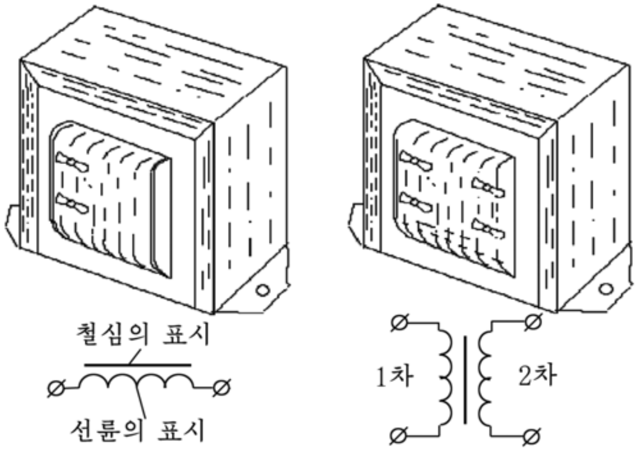



그림 1-17. 저주파선륜

ㄱ-색류선륜, ㄴ-변성기

② 고주파선륜

고주파선륜은 쓰이는 목적에 따라 공진회로선륜, 결합선륜, 고주파색류선륜으로 나눈다.

그리고 고주파선륜은 유도도가 고정된 선륜과 유도도를 변화시킬수 있는 선륜으로도 나눈다.(그림 1-18)

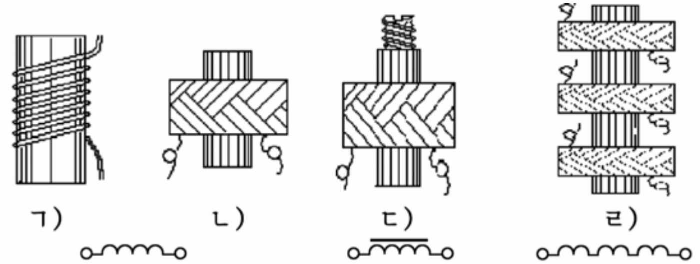



그림 1-18. 고주파선륜

또한 권선을 어떻게 감았는가에 따라 한층선륜, 여러층선륜, 사귐식선륜으로 나눈다.

사귐식선륜은 권선틀우에 권선을 여러층 감아서 만든것이다.(그림 1-18의 ㄴ, ㄷ, ㄹ)

고주파선륜에서는 유도도를 크게 하고 체적을 작게 하기 위하여 철심을 쓴다.(그림 1-18의 ㄷ)

고주파선륜의 철심으로는 압분철심과 훼리트철심을 쓰는데 이 철심은 나사형으로 되여있어 조절할수 있다.

그러므로 철심을 돌려 뽑으면 선륜의 유도도가 작아지고 철심을 넣으면 유도도가 커진다.

### 3) 선륜의 역할

선륜은 전자회로에서 다음과 같은 역할을 한다.

① 선륜은 닫긴회로에서 축전기와 함께 쌍을 이루면서 공진을 일으키며 고주파회로에서 부하로 리용된다.

② 선륜은 정류회로에서 평활작용을 한다.

③ 선륜은 교류는 막아주고 직류를 통과시켜주는 역할을 한다.

④ 선륜은 여러가지 주파수의 전류나 전압가운데서 필요한 어떤 주파수만을 갈라내는 작용을 한다.

#### 4) 선륜의 표시방법

선륜은 보통 문자 L로 표시한다.

선륜의 유도도값을 표시할 때에는 문자 L열에 유도도값을 적어넣는다.

실례로 유도도의 값이 50μH인 경우에는 〈L50μH〉로 표시한다.

전자회로에서 선륜을 표시할 때에는 그림 1-19와 같이 한다.

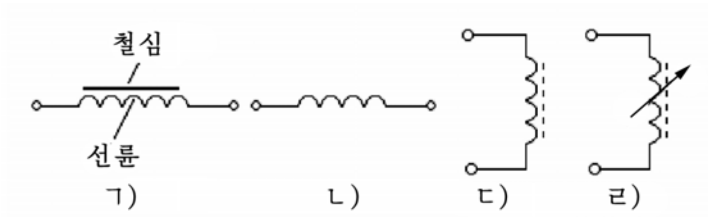



**그림 1-19. 전자회로에서 선륜의 표시방법**

ㄱ-저주파색류선륜, ㄴ-한층고주파선륜, ㄷ-고정철심이 있는 고주파선륜, ㄹ-철심으로 유도도를 변화시킬수 있는 고주파선륜

#### 5) 선륜의 선택과 리용

##### (1) 선륜의 선택

선륜은 종류에 따라 다음과 같이 선택한다.

한층권선형선륜은 높은 주파수를 만드는 발진기에 쓰인다.

그리고 여러층보통권선형선륜은 전류제한선륜으로 리용한다.

사귐식선륜은 과전류제한선륜으로 쓰인다.

철심이 있는 고주파선륜은 고주파에서 체적을 작게 하고 유도도를 크게 할 때 쓰인다.

그리고 유도도를 변화시켜야 할 때에는 철심으로 유도도를 변화시킬수 있는 고주파선륜을 쓴다.

저주파색류선륜은 정류회로에서 맥동전류를 미끈하게 만들기 위한 평활장치에 많이 쓰인다.

#### (2) 선륜의 리용

선륜을 직렬로 련결할 때에는 그 전체 유도도값이 매개의 선륜이 가지는 유도도를 합한것과 같고 병렬로 련결할 때에는 매개의 선륜이 가지는 유도도들의 거꿀수를 더한것의 거꿀수와 같다.

선륜에는 극성이 따로 없으므로 단자를 바꾸어 써도 일없다.

고주파선륜에서의 유도도조절은 선륜속에 있는 철심을 조절하는 방법으로 한다. 그러나 저주파선륜에서 유도도를 변화시키려면 권회수를 변화시키거나 철심을 다른것으로 바꾸어야 한다.

## 2. 변성기

변성기란 전자회로에서 교류신호전압을 변화시키며 회로들사이의 저항을 맞추어주는데 쓰이는 전자요소를 말한다.

### 1) 변성기란 무엇인가?

변성기의 동작원리는 변압기처럼 자기유도법칙에 의하여 1차쪽에서 교류전압을 변화시켜 2차쪽으로 넘겨주는 작용을 한다.

그러므로 변성기의 구조는 변압기처럼 철심과 권선이 있으며 권선에는 1차권선과 2차권선이 있다.(그림 1-20)

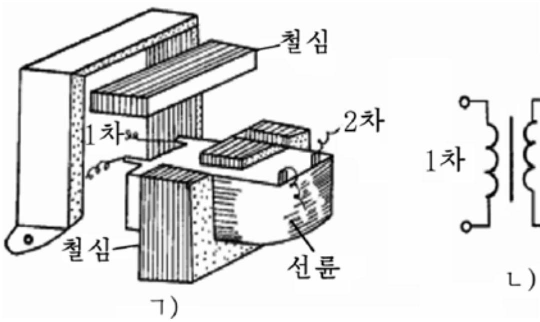



**그림 1-20. 변성기의 구조**

ㄱ-구조, ㄴ-기호표시

### 2) 변성기의 분류와 역할

변성기는 어떻게 분류되는가?

① 변성기는 주파수에 따라 저주파변성기, 중간주파변성기, 고주파변성기로 나눈다.

② 변성기는 기능에 따라 중계변성기, 임풀스변성기, 라지오 혹은 TV용 변성기로 나눈다.

③ 변성기는 쓰이는 목적에 따라 전류변성기, 전압변성기, 정합변성기, 입구변성기, 결합변성기,출력변성기, 중간주파변성기로 나눈다.(그림 1-21)

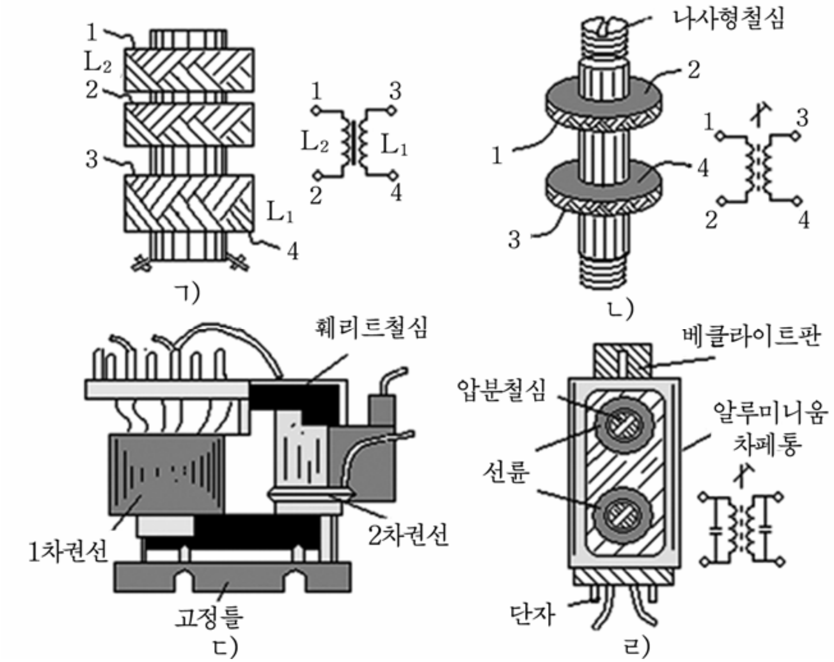



**그림 1-21. 변성기의 종류**

ㄱ-입구변성기, ㄴ-결합변성기, ㄷ-출력변성기, ㄹ-중간주파변성기

변성기는 어떤 역할을 하는가?

① 변성기는 큰 저항과 작은 저항을 정합시키는데 쓴다.

② 반도체소자증폭단사이를 결합시키는 중간결합변성기로 쓰인다.

증폭기와 같은데서 출력소자와 고성기사이에 들어있는 출력변성기나 마이크와 첫 증폭소자사이에 들어있는 변성기를 **정합변성기**라고 한다.

③ 안테나와 입구증폭단사이를 결합시키는 고주파변성기로 쓰인다.

④ TV와 같은데서 전압을 낮추는 역할을 한다.

⑤ 전자회로에서 위상을 변화시켜주는 역할을 한다.

**[상식]** 전자기유도법칙을 발명한 파라데이

화학자이며 물리학자인 파라데이(1791-1867)는 영국의 런던교외의 가난한 야장공의 아들로 태여났다.

13살 때부터 책방의 제책공으로 힘든 로동을 하면서도 많은 과학서적들을 탐독하였다.

어느날 파라데이는 이름있는 학자였던 데비의 강연을 듣고 몹시 감동되였으며 22살에는 과학을 탐구할 희망을 품고 데비의 실험조수로 되였다.

과학활동의 초기에 파라데이는 화학을 연구하다가 그후에는 전기학을 연구하기 시작하였다.

파라데이는 거듭되는 실험적연구과정에 40살 되는 해인 1831년에 전자기유도현상을 발견하였으며 1837년에는 전기 및 자기마당의 개념을 확증함으로써 전자기리론의 기초를 마련하였다.

전기마당에 관한 파라데이의 실험적연구결과는 그후에 막스웰에 의하여 수학리론적으로 정식화되였다.

파라데이는 전기분해현상을 연구하면서 1833년에 전기분해법칙(파라데이법칙)을 발견하였으며 이밖에도 진공방전의 연구, 《파라데이효과》와 반자성물질의 발견 등 과학발전에 커다란 기여를 하였다.

**[참고자료]　　전원변압기의 계산방법**

-복권변압기의 요소계산

① 철심의 자름면적 $Q_{심}=1.25\sqrt{p_{변}}$ (㎠)의 값을 가지고 철심규격표에서 알맞는 철심규격을 택한다.

② 볼트(V)당 권회수 $N_0$의 계산

$$N_0=\frac{45\sim60}{Q_{심}}\ (회/V)$$

여기서 분자에 있는 45~60은 철심재료가 좋으면 45로 하고 나쁘면 60으로 하라는 뜻인데 보통 50으로 하면 된다.

가정용변압기를 만들 때에는 대체로 변압기의 용량을 선택하면 그에 맞는 철심면적이 정해지기때문에 그것으로 $N_0$을 계산한다.

③ 1차권선과 2차권선의 권회수 $N_1$, $N_2$의 계산

$$N_1=N_0U_1(\text{회}),\ N_2=N_0U_2(\text{회})$$

④ 1차전류 $I_1$과 2차전류 $I_2$의 계산

$$I_1= p_{\text{변}}/U_1(\text{A})$$

$$I_2= p_{\text{변}}/U_2(\text{A})$$

⑤ 권선의 직경(d)의 계산

$$\text{1차권선 직경 } d_1=0.8\sqrt{I_1}\ (\text{mm})$$

$$\text{2차권선 직경 } d_2=0.8\sqrt{I_2}\ (\text{mm})$$

⑥ 창면적계산

$$\text{1차권선자름면적 } S_1=\frac{\pi}{4}d_1\ (\text{mm}^2)$$

$$\text{2차권선자름면적 } S_2=\frac{\pi}{4}d_2\ (\text{mm}^2)$$

$$\text{실지창면적 } S=2(S_1+S_2)$$

- 단권변압기의 요소계산

① 철심의 자름면적 $Q_{\text{심}}$의 계산

$$Q_{\text{심}}=1.2\sqrt{P_{\text{변}}(1-\frac{U_1}{U_2})}\ (\text{cm}^2)$$

여기서 1차전압 $U_1$보다 2차전압 $U_2$가 높으면 웃식대로 하고 반대로 $U_2$보다 $U_1$이 높으면 $U_1/U_2$ 대신 $U_2/U_1$로 해야 한다.

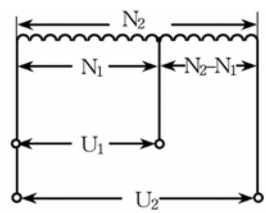



**그림 1-22. 단권변압기에서의 권회수 관계**

② 볼트당 권회수 $N_0$의 계산

가정용변압기를 만들 때에는 변압기의 용량이 선정되기때문에 그에 맞는 철심면적이 정해져 그것으로 $N_0$을 계산한다.

③ 권선들의 권회수계산

1차권회수 $N_1=N_0\cdot U_1$(회)　　　2차권회수 $N_2=N_0\cdot U_2$(회)

이때 $N_2$에는 $N_1$이 들어있다.

그러므로 실지 더 감는 권회수 N은 다음과 같다.

$$N=N_2-N_1$$

④ 권선의 직경 d의 계산

단권변압기에서는 그림 1-23에서 보는바와 같이 공동권선구간에서 1차전류 $I_1$과 2차전류 $I_2$의 방향이 반대이다. 즉 1차전류 $I_1$은 A에서 B에로 흐른다면 2차전류 $I_2$는 C에서 A에로 흐른다.

그러므로 공동권선구간에서의 전류 I는 $I=I_1-I_2$이다. 이와 같은 관계로 하여 권선직경은 다음과 같이 계산된다.

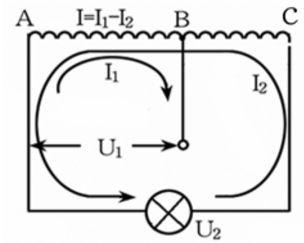



그림 1-23. 단권변압기의 전류관계

공동권선구간 (AB)에서의 권선직경 $d_1$은

$$d_1=0.8\sqrt{I}=0.8\sqrt{I_1-I_2}$$

더 감는 구간 (BC)의 권선직경 $d_2$는

$$d_2=0.8\sqrt{I_2}$$

여기서 $I_1=p_{변}/U_1$, $I_2=p_{변}/U_2$이다.

⑤ 창면적계산은 복권변압기와 같다.

## 제4절. 반도체2극소자

### 1. 반도체

반도체란 전기적성질에 있어서 도체와 부도체사이에 있는 물질을 말한다.

어떤 물체가 전류를 얼마나 잘 통과시키는가 하는것은 그 물체의 비저항에 의하여 평가할수 있다.

도체의 비저항은 대체로 $10^{-8}$~$10^{-6}$Ωm이고 부도체의 비저항은 $10^{4}$~$10^{16}$Ωm이며 반도체의 비저항은 $10^{-6}$~$10^{4}$Ωm이다.

따라서 반도체는 비저항이 도체와 부도체사이에 있는 물질이라고 말할수 있다.

이러한 반도체물질로는 규소(Si), 게르마니움(Ge), 붕소(B), 린(P), 인디움(In) 등과 같은 원소들과 금속산화물 및 금속류화물등이 쓰인다.

반도체는 일련의 물리적성질로 인하여 전자공업에서 중요한 자리를 차지한다.

그러면 반도체는 어떤 물리적성질들을 가지고있는가?

① 반도체의 저항은 온도가 높아지면 작아진다. 일반적으로 도체는 온도가 높아지면 저항이 커지는데 이것을 금속이 정의 저항온도결수를 가진다고 한다.

그러나 반도체는 금속과 반대로 부의 저항온도결수를 가진다.

② 반도체에 빛을 비쳐주면 저항이 작아진다.

③ 반도체속에 아주 적은 량의 혼입물을 섞어주면 저항이 매우 작아진다.

이 성질을 리용하여 반도체소자를 만든다.

### 1) 순수반도체

모든 물질은 원자로 이루어지고 원자는 원자핵과 그 주위를 도는 전자들로 이루어진다.

전자들은 〈-〉전기를 띠고 〈+〉전기를 띤 원자핵의 주위를 서로 끌어당기면서 돈다.(그림 1-24)

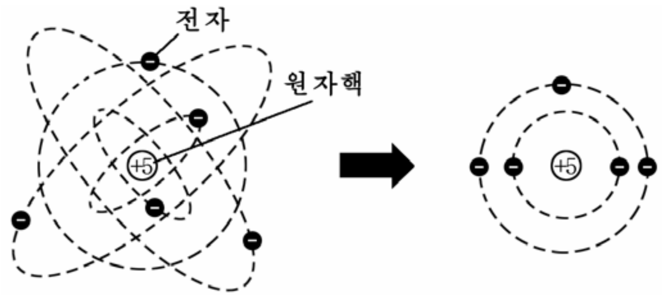



그림 1-24. 원자의 구조

물질의 전기적성질은 바깥궤도에 놓이는 전자의 수와 그 성질에 관계된다.

바깥궤도에 놓이는 전자를 **값전자**라고 부른다.

바깥궤도에 정해진 개수만큼 다 들어간 원자는 전기적으로 안정하고 모자라는 전자들은 불안정한 상태에 놓인다.

불안정한 상태에 놓인 전자들은 밖으로부터 열이나 빛, 전기마당을 주면 원자로부터 쉽게 떨어져나와 자유전자로 된다.

순수반도체의 구조를 알아보기 위한 규소단결정을 보자.

원자나 분자들이 일정한 규칙에 따라 질서정연하게 배치된 특수한 형태를 가진 물질을 **결정**이라고 한다.

규소원자는 원자값이 4이므로 바깥궤도에 4개의 전자를 받든가 내보내여 안정한 상태로 되려고 한다.(그림 1-25)

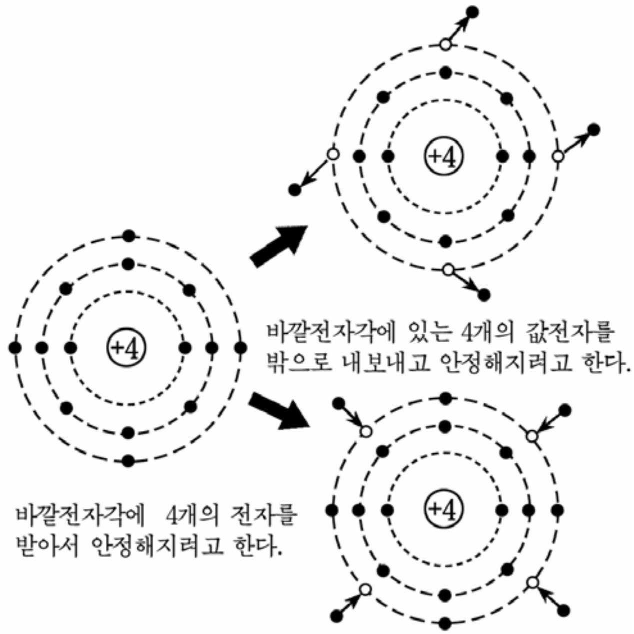



그림 1-25. 규소원자의 안정화상태

때문에 규소원자들은 규소결정을 이룰 때 이 값전자들이 이웃에 있는 4개의 규소원자들과 공유결합을 이루어 안정한 상태(바깥궤도에 8개의 전자가 있는 상태)로 된다.(그림 1-26)

낮은 온도에서는 규소결정속에 자유전자가 없으므로 부도체로 된다.

이렇게 공유결합한 규소결정에서 값전자들은 원자에 매우 약하게 결합되여있다. 그러므로 규소결정에 빛이나 열, 전기마당과 같은 에네르기를 주면 에네르기를 받은 값전자들의 운동이 활발해진다.

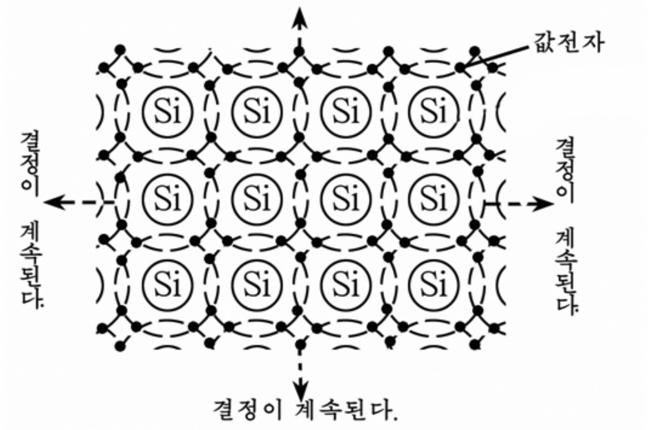



그림 1-26. 규소결정의 공유결합

이때 값전자들가운데서 원자가 붙들고있는 힘을 이길 정도로 세게 운동하는것들은 공유결합상태로부터 떨어져나온다.

따라서 결합상태에는 빈자리가 생기고 결정안에는 자유로이 떠돌아다니는 전자가 생긴다. 이 떨어져나온 전자를 **자유전자**, 자유전자가 떨어져나온 결과 생긴 빈자리를 **구멍**이라고 부른다.

결국 규소결정에는 자유전자와 구멍의 쌍이 생긴다.

즉 자유전자와 구멍의 수는 언제나 같다. 이런 반도체를 **순수반도체**라고 부른다.

순수반도체속에 생긴 구멍은 언제나 한자리에 머무는것이 아니라 이웃의 값전자들이 옮겨가 구멍을 메워 구멍자리는 없어지고 옮겨간 값전자가 있던 자리에 새롭게 구멍이 생긴다.

이처럼 새로운 구멍에 이웃의 값전자가 옮겨가 자리를 메우고 또 그 값전자에 의하여 구멍이 생기는 과정은 련속 진행된다.

순수반도체속에서는 이런 과정이 저절로 일어나므로 자유전자나 구멍은 다 전류나르개로 될수 있다.

순수반도체에 전기마당을 작용시키면 자유전자들은 전기마당의 반대방향으로 운동한다.(그것은 자유전자들이 〈-〉전기를 띤 알갱이기때문이다.)

한편 구멍옆에 있던 값전자들이 전기마당의 힘을 받아 구멍을 차례로 메워주므로 구멍은 자기마당의 방향으로 옮겨간다.

이것은 구멍의 움직임이 마치 〈+〉전기를 띤 알갱이가 〈+〉전기량을 가지고 전기마당방향으로 옮겨가는것과 같다.(그림 1-27)

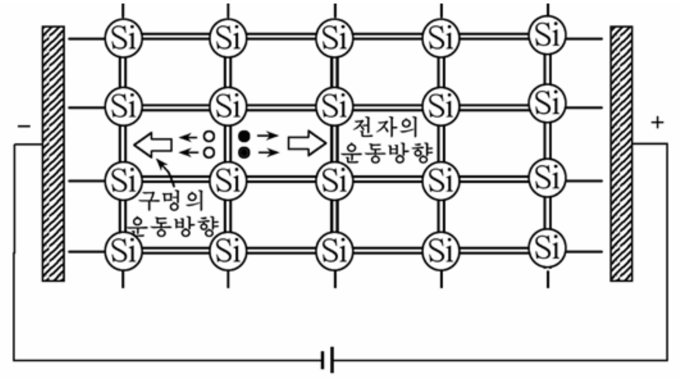



그림 1-27. 전기마당속에서 자유전자와 구멍의 이동

여기로부터 순수반도체에 전기마당을 작용시키면 구멍은 전기마당의 〈-〉방향으로, 자유전자는 전기마당의 〈+〉방향으로 옮겨가면서 전류를 형성한다는것을 알수 있다.

자유전자의 이동으로 생긴 전류를 **전자전류**, 구멍의 이동으로 생긴 전류를 **구멍전류**라고 한다.

순수반도체에서는 둘레온도가 높아지면서 자유전자와 구멍의 쌍이 많아지면서 저항은 작아지게 된다.

### 2) 혼입물반도체

전자공업에서는 순수한 반도체를 쓰지 않고 다른 원소가 조금 섞인 혼입물반도체를 쓴다.

그것은 순수한 반도체결정속에 혼입물이 들어갈 때 반도체의 성질이 변하기때문이다.

혼입물반도체는 전자반도체(n형반도체)와 구멍반도체(p형반도체)로 나눈다.

#### (1) 전자반도체(n형반도체)

4값의 규소원자로 이루어진 순수한 결정속에 5값의 린원자를 조금 섞으면 린원자의 5개의 값전자가운데서 4개만이 이웃에 있는

규소원자와 공유결합을 이루고 나머지 한개는 이 원자에서 떨어져나와 쉽게 자유전자로 된다.(그림 1-28)

이때에는 이 전자가 공유결합에 참가하지 않았으므로 떨어져나와도 구멍이 생기지 않는다.

방안온도정도에서 공유결합에 참가하지 못한 값전자는 모두 전기를 나르는 전도전자로 된다.

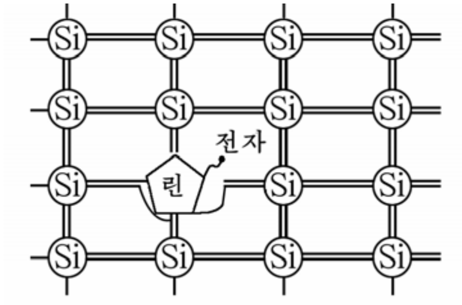



그림 1-28. 전자반도체

규소결정에 넣은 린원자는 쉽게 전도전자를 주므로 주개라고 하며 이때 전자를 잃은 린원자는 양이온으로 된다.

이와 같이 전자가 구멍보다 더 많은 반도체가 **전자반도체(n형반도체)**이다.

전자반도체에서는 주개에서 나온 전도전자들과 공유결합에서 떨어져나온 전자와 구멍쌍이 전류나르개로 되는데 여기서 전자의 수가 구멍보다 훨씬 많다. 그러므로 전자반도체에서는 전자가 전류의 기본을 이루고 구멍은 기본을 이루지 못한다. 여기서 기본을 이루는 전자를 **기본나르개**, 기본을 이루지 못하는 구멍을 **비기본나르개**라고 한다.

**(2) 구멍반도체(p형반도체)**

이번에는 순수한 규소결정속에 3값의 원소인 붕소원자를 섞어보자.

규소결정속에 들어간 붕소원자가 이웃에 있는 규소원자들과 공유결합하려면 값전자가 하나 모자란다. 그러므로 그옆에 있는 규소원자로부터 값전자를 하나 빼앗아 공유결합을 한다. 그러면 전자를 빼앗긴 자리에 구멍이 생기고 전자를 받은 붕소원자는 음이온으로 된다.

이런 반도체에 열이나 빛, 전기마당을 주면 구멍옆에 있던 전자들이 구멍을 메우고 구멍의 자리는 옆으로 옮겨진다. 그러므로 구멍은 움직이지 않지만 구멍에 전자가 들어가고 그 전자가 남긴 구멍이 생기는것과 같은 현상이 계속되여 마치 구멍이 움직이는것처럼 된다. 때문에 구멍은 전류나르개로 된다.

이처럼 규소결정속에 넣은 붕소원자는 전자를 받아 구멍을 만드는 역할을 수행한다. 전자를 받는다는 뜻에서 붕소원자를 **받개**라고 부른다.(그림 1-29)

받개가 있는 반도체에서는 구멍이 전도전자보다 훨씬 많다.

그리하여 구멍반도체에서는 구멍이 전류의 기본나르개로 되고 전자가 비기본나르개로 된다. 기본전류나르개가 구멍인 반도체를 **구멍반도체(p형반도체)**라고 부른다. 그러므로 구멍반도체는 받개가 있는 반도체이다.

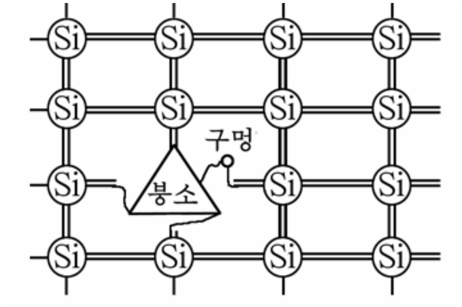



그림 1-29. 구멍반도체

전자반도체와 구멍반도체의 주개와 받개의 수를 적당히 조절하면 반도체의 전기저항을 마음대로 변화시킬수 있다.

이 성질을 리용하여 여러가지 반도체소자를 만든다.

### 3) pn이음

순수반도체의 한쪽에는 주개를 넣어 전자반도체로 되게 하고 다른쪽에는 받개를 넣어 구멍반도체로 되게 하면 전자반도체와 구멍반도체가 서로 맞닿은 경계면이 생긴다.(그림 1-30의 ㄱ)

전자반도체와 구멍반도체의 경계면에서는 확산현상에 의하여 전자반도체속에 있던 전자들은 구멍반도체속으로 퍼져들어가고 구멍반도체속에 있던 구멍들은 전자반도체속으로 퍼져들어간다.(그림 1-30의 ㄴ)

그러면 경계면을 지나 넘어간 전자들과 구멍들은 서로 결합하여 없어지게 된다. 한편 〈-〉전기를 띤 전도전자와 〈+〉전기를 띤 구멍의 이동에 의하여 경계면을 사이에 두고 〈+〉전기를 띤 구

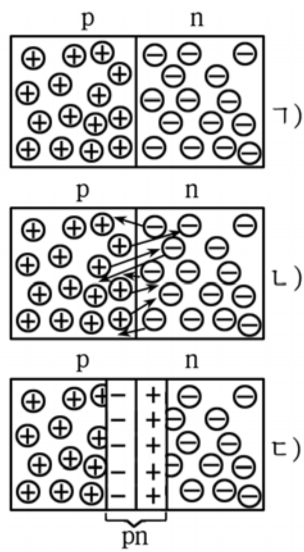



그림 1-30. pn이음이 생기는 과정

멍이 들어간 전자반도체쪽에는 주개이온에 의해 〈+〉전하층이 나타나고〈-〉전기를 띤 전자가 들어간 구멍반도체쪽에는 받개이온에 의해 〈-〉전하층이 나타난다.(그림 1-30의 ㄷ)

이런 과정으로 구멍반도체인 p형반도체와 전자반도체인 n형반도체의 경계면에서는 경계면을 사이에 두고 전도전자와 구멍이 쌓이게 된다. 결과 구멍과 전도전자에 의하여 경계면에는 전기마당이 생기는데 전기마당의 방향은 전자반도체로부터 구멍반도체로 향한다.(전자의 운동방향은 전류의 방향과 반대이다.)

이리하여 n형반도체와 p형반도체의 경계면에서는 〈+〉전기와 〈-〉전기를 띤 전기2중층이 생기는데 이것을 **pn이음**이라고 부른다.

그러면 pn이음에 생긴 전기마당은 어떤 작용을 하는가를 보자.

pn이음에 생긴 전기마당은 방향이 n형반도체에서 p형반도체쪽으로 향하기때문에 전도전자가 p형반도체쪽으로, 구멍이 n형반도체쪽으로 계속 확산하는것을 방해하게 된다. 그러므로 경계면에 전기마당이 생기면 전도전자와 구멍은 경계면을 넘어 확산될수 없다.

즉 경계면에 생긴 전기마당은 마치 전도전자와 구멍의 이동을 막은 《장벽》과 같다.(그림 1-31)

그러므로 다시 확산현상이 일어나게 하려면 경계면에 생긴 전기마당의 세기를 변화시켜주어야 한다.

이것은《장벽》의 높이를 낮추어주는것과 같다.

전자공학에서는 pn이음의 이런 특수한 성질을 리용하여 전류를 한쪽방향으로 흐르게 하거나 증폭하는것과 같은 반도체소자를 만든다.

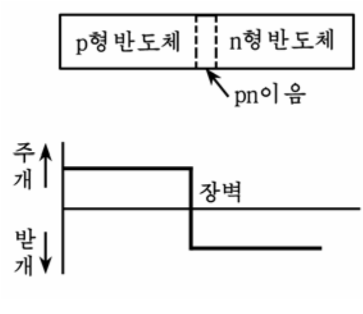



**그림 1-31. pn이음에 생긴 장벽**

pn이음의 성질을 전기저항으로 설명하자.

pn이음층에서는 전도전자와 구멍이 거의 없으므로 전류나르개가 없다.

때문에 pn이음의 전기저항은 대단히 크다. 결과 pn이음을 거쳐 전류가 흐르기 매우 힘들다.

이것은 pn이음이 전류나르개인 전도전자와 구멍의 이동을 막는 《장벽》과 같다는것을 알수 있다.

만약 경계면을 지나서 전류가 흐르게 하려면 pn이음으로 흐르는 전류의 세기를 외부전기마당으로 변화시킬수 있다.

## 2. 반도체2극소자의 구조와 정류작용

반도체2극소자란 pn이음을 사이에 두고 n형반도체와 p형반도체에 전극을 붙인 반도체소자를 말한다.

반도체2극소자의 구조와 외형을 그림 1-32에 보여주었다.

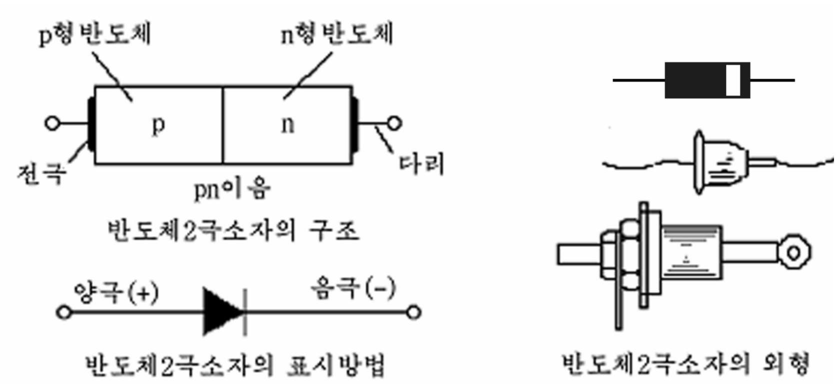



그림 1-32. 반도체2극소자의 구조와 외형

반도체2극소자는 한개의 pn이음이 들어있는 전자요소이다.

반도체2극소자의 기본작용은 정류작용이다. 전류를 한쪽방향으로만 잘 흐르게 하는 작용을 **정류작용**이라고 한다.(그림 1-33)

먼저 그림 1-33의 ㄱ)와 같이 건전지의 〈+〉극은 p형반도체에, 〈-〉극은 n형반도체에 련결하자.(정방향) 그러면 pn이음의 전기마당과 건전지가 만드는 외부전기마당이 반대로 된다.

이 두 전기마당이 겹친 결과 pn이음의 전기마당은 약해진다. 이때 pn이음의 두께는 얇아지면서 전기저항은 작아진다.

그러므로 구멍과 전도전자들이 외부전기마당의 작용을 받으면서 경계면을 지나 잘 흐른다. 결과 전등에는 불이 켜지게 된다.

이 경우에는 n형반도체속에 있던 〈-〉전기를 띤 전도전자들이 건전지의 〈+〉극에 의하여 pn이음을 넘어 〈+〉극으로 끌려가게 된다.

한편 p형반도체속에 있는 〈+〉전기를 띤 구멍들은 건전지의 〈-〉극에 의하여 pn이음을 넘어 〈-〉극으로 끌려간다.

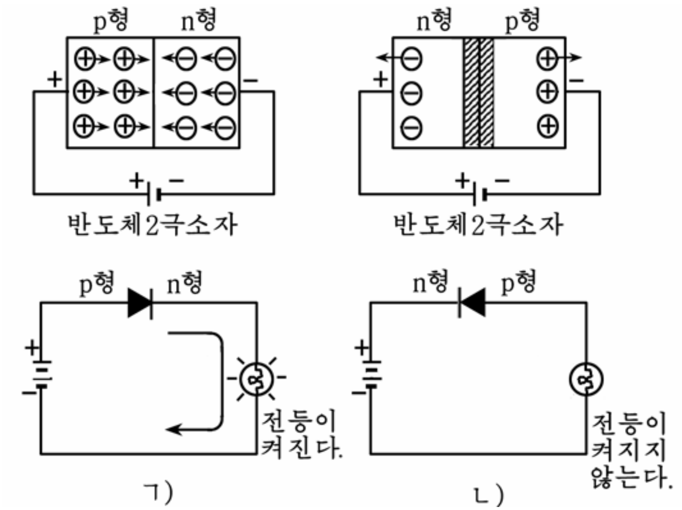



**그림 1-33. 반도체2극소자의 정류작용**

ㄱ-정방향일 때, ㄴ-역방향일 때

이처럼 반도체2극소자에서는 전자도 움직이고 구멍도 움직여 한방향으로 전류가 흐르게 된다.

이렇게 반도체2극소자에서 p형반도체에 〈+〉전압을 주고 n형반도체에 〈-〉전압을 줄 때를 **정방향전압**이라고 한다.

다음에는 그림 1-33의 ㄴ)와 같이 n형반도체에 〈+〉전압을, p형반도체에 〈-〉전압을 주도록 련결하자.(역방향) 그러면 pn이음의 전기마당과 외부전기마당의 방향이 같아진다.

그러므로 pn이음속에서 전자와 구멍의 이동을 막는 전기마당이 매우 세지게 된다. 이때 pn이음의 두께가 늘어나며 그의 전기저항도 커져 전류가 흐르지 못한다. 그러므로 전등은 켜지지 않는다.

이 경우에는 p형반도체속에 있던 구멍들이 건전지의 〈-〉극에 모두 끌려와서 p형반도체의 오른쪽끝에 가득 모이게 된다.

한편 n형반도체안에 있던 전자들은 건전지의 〈+〉극에 모두 끌려와 n형반도체의 왼쪽끝에 가득 모이게 된다.

그리고 pn이음의 경계면에서는 장벽이 더욱 높아져 전류가 흐르지 못하게 된다.

이렇게 반도체2극소자에서 p형반도체에 〈-〉전압을 주고 n형반도체에 〈+〉전압을 줄 때를 **역방향전압**이라고 한다.

역방향전압을 대단히 높이 걸어주면 장벽이 무너지면서 전자《사태》가 일어나 큰 전류가 흐르게 되여 반도체2극소자가 파괴된다. 그러므로 반도체2극소자를 쓸 때에는 규정된 전압이상의 교류전압을 걸어주지 말아야 한다.

반도체2극소자에서 전압에 따라 전류의 세기가 어떻게 변하는가를 알아보기 위하여 정방향전압을 령으로부터 점차 높이면서 전류의 세기를 측정한 다음 역방향전압을 령으로부터 점차 낮추면서 전류의 세기를 측정한다.

이때 측정한 값을 가로(전압), 세로(전류의 세기)축에 표시하면 그림 1-34와 같이 된다.

그림에서 표시된 곡선 ㄱ-ㄴ-0-ㄷ-ㄹ를 반도체2극소자의 **전압-전류특성곡선**이라고 부른다.

이 특성곡선으로부터 다음과 같은것을 알수 있다.

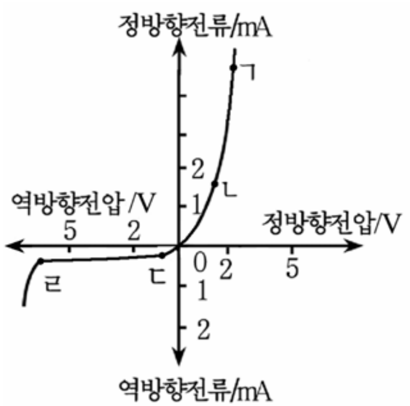



**그림 1-34. 반도체2극소자의 전압-전류특성곡선**

정방향전압을 령으로부터 높이면 정방향의 전류가 천천히 커지다가(0-ㄴ) 전압이 일정한 값을 넘은 다음부터 전류의 세기가 급격히 커진다.(ㄴ-ㄱ)

다음 역방향전압도 령으로부터 높이면 역방향전류가 거의 일정하며 매우 작다.(0-ㄷ-ㄹ)

여기로부터 반도체2극소자는 정류특성을 가진다는것을 알수 있다.

## 3. 반도체2극소자의 분류와 그 리용

반도체2극소자는 쓰이는 목적과 특성에 따라 정류소자, 검파소자, 전압안정2극소자, 가변용량2극소자 등으로 나눈다.

### 1) 반도체정류소자

정류소자란 교류를 직류로 바꾸어주는 반도체소자이다.

정류소자에서 기본은 면접촉2극소자이다. 면접촉2극소자는 pn이음면의 면적이 넓고 기계적으로 든든하기때문에 큰 전류가 흐를수는 있지만 주파수특성이 낮다.

그러므로 낮은 주파수에서 동작하는 정류회로에 많이 쓰인다.

*반도체정류소자를 쓸 때에는 다음과 같은 점들을 주의해야 한다.*

① 온도가 지나치게 높아지지 않도록 하여야 한다.

반도체2극소자는 온도가 높아지면 특성이 나빠진다. 그러므로 반도체2극소자를 다른 가열체가까이에 배치하지 말아야 하며 납땜할 때에는 반도체로부터 5㎜이상 사이를 두고 납땜하여야 한다. 이때 온도는 150~180℃를 넘지 말아야 한다.

정류전류가 큰 반도체정류소자를 쓸 때는 반드시 랭각판을 붙여써야 한다.

② 특성이 같은 소자를 골라써야 한다.

반도체정류소자 한개가 해당한 역전압에 견디지 못할 때에는 두개 혹은 몇개의 소자를 직렬련결하여 쓰는데 이때는 특성이 10% 이상 차이없는것으로 골라써야 한다. 또한 반도체정류소자 한개로 정류용량이 모자랄 때에는 몇개의 소자를 병렬련결하여 쓰는데 이때 정방향저항이 다르면 전류가 꼭같이 갈라져 흐르지 않는다.

③ 역전압과 정류전류의 값을 편람이나 설명서에 씌여있는 값보다 낮게 써야 한다.

**2) 반도체검파소자**

반도체검파소자란 검파에 쓰는 반도체 2 극소자를 말한다.

고주파에 섞여있는 저주파신호만을 골라내는 과정을 검파라고 한다. 그러므로 검파작용은 정류작용과 비슷하다.

검파할 때 거기에 걸리는 전압과 흐르는 전류가 매우 작으므로 이때 역전압이 낮고 정류전류가 작은 점접촉2극소자가 쓰인다.

검파소자는 정류소자와 달리 수백㎑이상의 고주파에서 쓰이므로 주파수특성이 좋아야 한다.

전자회로에서 검파소자의 표시방법은 정류소자의 표시방법과 같다.

**3) 전압안정2극소자**

전압안정2극소자란 전압을 안정시키기 위하여 쓰는 반도체2극소자를 말한다.

입구전압이 변동하여도 출구전압을 일정하게 유지하는것을 **전압안정**이라고 한다.

전압안정2극소자의 동작원리는 반도체2극소자의 전압-전류특성곡선에서 역방향전압을 pn이음의 절연파괴전압까지 걸어주면 이때 역방향전류는 갑자기 커지지만 전압은 거의 일정하게 유지하는 성질에 기초한다.(그림 1-35)

그러므로 전압안정2극소자는 입구전압이 변하여도 출구전압을 일정하게 유지하기 위한 안정화회로와 전압제한회로같은데서 리용한다.

전압안정2극소자는 역방향전압이 걸리도록 련결하여 쓴다.

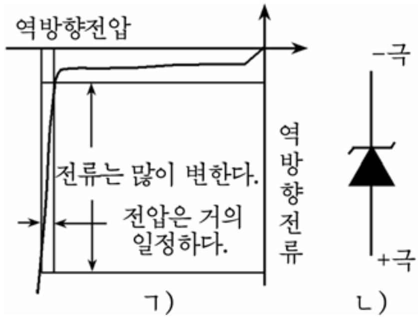



그림 1-35. 전압안정2극소자의 동작원리(ㄱ)와 회로표시방법(ㄴ)

#### 4) 가변용량2극소자

가변용량2극소자란 전압을 변화시켜 용량을 조절할수 있게 만든 반도체소자이다.

용량을 변화시키는것을 **가변용량**이라고 부른다.

가변용량2극소자의 동작원리는 반도체의 pn이음에서 그 경계면에 전자와 구멍의 결합으로 전하나르개가 적어져 마치 절연물을 사이에 두고 두 도체가 놓여있는 축전기의 원리와 류사한 현상에 기초하고 있다.(그림 1-36)

그림 1-36과 같이 반도체의 pn이음에 외부로부터 역방향전압을 걸어주면 그의 크기에 대응하여 《장벽》이 두터워진다. 그러면 절연물의 두께가 증가하는것으로 되여 용량이 작아진다.

가변용량2극소자는 이처럼 pn이음에 역방향전압을 조절하여 용량을 변화시킨다.

가변용량2극소자는 전자회로에서 가변축전기를 대신하여 주파수를 전기적으로 조절하는데 많이 리용한다.

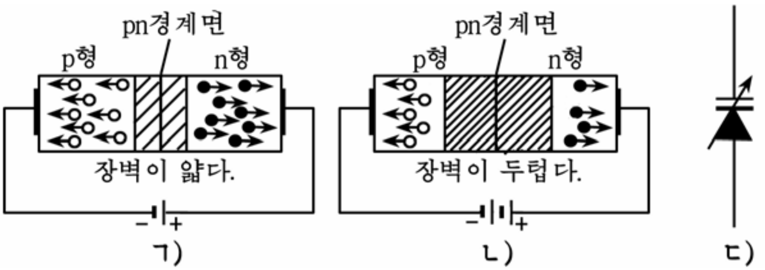



그림 1-36. 가변용량2극소자의 동작원리

ㄱ-작은 역방향전압을 걸어주는 경우,
ㄴ-큰 역방향전압을 걸어주는 경우, ㄷ-회로표시방법

# 제5절. 반도체3극소자

## 1. 반도체3극소자의 구조와 동작원리

### 1) 반도체3극소자의 구조

그림 1-37의 ㄱ)와 같이 반도체의 극이 pnp의 순서로 되여있는 3극소자를 **pnp형반도체3극소자**라고 부르고 그림 1-37의 ㄴ)와 같이 반도체의 극이 npn의 순서로 되여있는 3극소자를 **npn형반도체3극소자**라고 부른다.

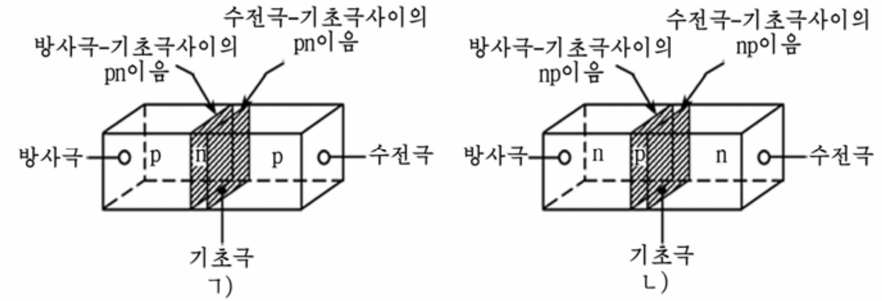



**그림 1-37. 반도체3극소자의 구조**

ㄱ-pnp 형반도체 3 극소자, ㄴ-npn 형반도체 3 극소자

pnp형반도체3극소자와 npn형반도체3극소자의 동작원리는 같은데 다만 전극들에 주는 전압의 극성이 다르다.

반도체3극소자는 세개의 극을 가지는데 가운데층에서 나온 극을 **기초극,** 그의 량쪽에서 나온 극을 각각 **방사극, 수전극**이라고 부른다.

방사극은 전류나르개인 전자나 구멍을 내보내는 역할을 한다.

기초극은 반도체3극소자의 가운데 있으면서 방사극으로부터 수전극으로 가는 전자나 구멍들의 수를 조절하는 역할을 한다.

수전극은 방사극에서 튀여나오는 전자나 구멍들을 끌어당기는 역할을 한다.

반도체3극소자는 방사극과 기초극사이, 기초극과 수전극사이에 두개의 pn이음을 가지는데 이 pn이음의 동작원리는 반도체2극소자에서와 같다.

반도체3극소자가 동작하려면 매개의 전극에 알맞는 전압극성을 주어야 한다.

npn형반도체3극소자에서는 방사극이 n형반도체이므로 그속에 있는 전자를 수전극으로 끌어오려면 방사극에 〈-〉전압을 주고 수전극에 〈+〉전압을 걸어주어야 한다.

반대로 pnp형반도체3극소자에서는 방사극이 p형반도체이므로 그속에 있는 전류나르개인 구멍을 수전극으로 끌어오려면 방사극에 〈+〉전압을 걸어주고 수전극에는 〈-〉전압을 걸어주어야 한다.

여기로부터 반도체3극소자를 회로에 표시할 때 방사극에 화살표로 npn형 또는 pnp형반도체3극소자를 구별하여준다.(그림 1-38)

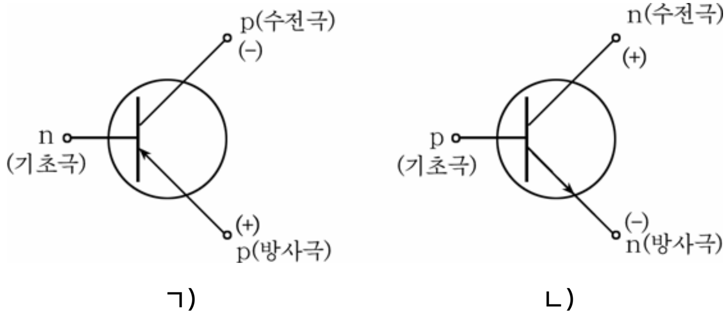



**그림 1-38. 반도체3극소자의 회로표시방법**
ㄱ-pnp형, ㄴ-npn형

### 2) 반도체3극소자의 동작원리

#### (1) 방사극과 기초극사이에 정방향전압을 준 경우

방사극은 n형반도체이므로 전도전자를 많이 가지고있다.

그러나 기초극은 p형반도체로 되여 매우 얇은 두께를 가지면서 구멍을 방사극의 전자보다 훨씬 적게 가진다.

그러므로 그림 1-39의 ㄴ)와 같이 방사극과 기초극사이의 pn이음에 정방향전압을 걸어주면 방사극전류가 흐른다. 이때 전류나르개는 전자이다.

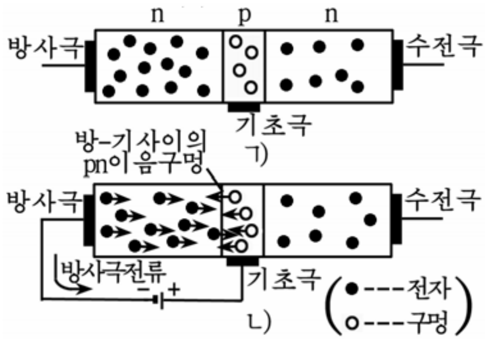



**그림 1-39. npn형반도체3극소자에서 방사극과 기초극에 정방향전압을 걸어준 경우**
ㄱ-npn이음, ㄴ-동작원리

(2) 수전극과 기초극사이에 역방향전압을 준 경우

수전극과 기초극사이에 역방향전압을 주었을 때 수전극과 기초극사이의 pn이음에서는 매우 작은 역방향전류만 흐른다.

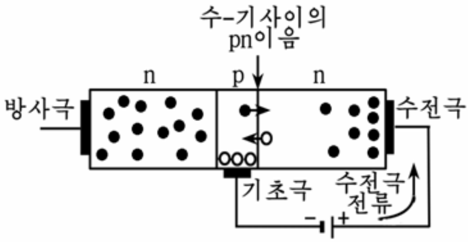



그림 1-40. npn형반도체3극소자의 수전극과 기초극사이에 역방향전압을 걸어준 경우

그러나 수전극과 기초극사이에서는 역방향전압에 의하여 장벽이 두터워지면서 높은 전기마당이 걸리게 된다.

그러므로 방사극으로부터 기초극에 들어온 전자들은 이 전기마당에 의하여 가속되여 수전극으로 들어가 수전극전류로 된다.

(3) 반도체3극소자의 동작과정

반도체3극소자가 동작하려면 방사극과 기초극사이에는 정방향전압을 걸어주고 수전극과 기초극사이에는 역방향전압을 걸어주어야 한다.(그림 1-41)

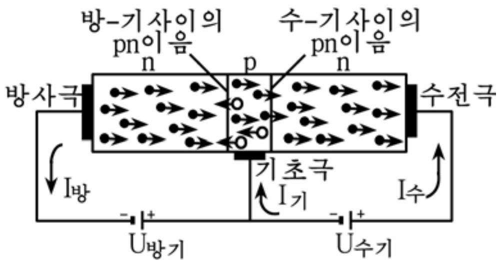



그림 1-41. npn형반도체3극소자의 동작과정

이때 반도체3극소자의 방사극과 기초극은 한개의 반도체2극소자로 볼수 있으므로 결국 이것은 반도체2극소자에 정방향전압을 준 경우와 같다. 즉 방사극인 n형반도체속의 〈-〉전자들은 정방향전압에 의하여 pn경계면을 넘어 기초극인 p형반도체를 지나 전원

의 〈+〉극으로 끌려가게 된다.

한편 기초극인 p형반도체속에 있는 〈+〉전기를 가진 구멍들은 방사극과 기초극에 걸어준 전원의 〈-〉극에 의하여 방사극인 n형반도체를 거쳐 전원의 〈-〉극으로 끌려가게 된다.

반도체3극소자의 기초극두께는 대단히 얇으므로 방사극에서 나온〈-〉전자가 기초극을 넘어 수전극까지 간다. 이때 수전극과 기초극사이에는 역방향전압을 걸어주었으므로 방사극에서 튀여나와 기초극에 걸어준 전원에 의하여 〈+〉극으로 들어간다.

결국 방사극에서 튀여나온〈-〉전자들의 일부는 기초극으로, 나머지 대부분의 전자들은 수전극으로 이동하여 결국 수전극과 기초극사이에 걸어준 전원의 〈+〉극으로 흘러가게 된다.

그림 1-41에서 방사극과 기초극사이에 걸어준 전원에 의하여 흐르는 전류를 **기초극전류**라고 하며 수전극과 기초극사이에 걸어준 전원에 의하여 수전극으로 흐르는 전류를 **수전극전류**라고 한다. 그리고 전자를 내보내는 방사극으로 흐르는 전류를 **방사극전류**라고 한다.

방사극전류는 기초극전류와 수전극전류를 합한것으로 된다.

반도체3극소자에서는 방사극을 떠난 전류나르개의 2~5%가 기초극으로 가며 나머지 95~98%는 수전극으로 간다.

방사극전류를 100%라고 할 때 기초극전류는 2~5%이고 수전극전류는 95~98%이다.

실례로 어떤 반도체3극소자에서 기초극전류가 2%이고 수전극전류가 98%라고 하면 기초극전류 1%에 대하여 수전극전류가 49%로 된다. 다시말하여 반도체3극소자의 기초극에 1mA의 작은 전류를 주면 그것이 증폭되여 수전극에서 49mA의 큰 전류를 얻을수 있다는것이다.

때문에 반도체3극소자에서는 기초극에서 전류를 약간 변화시켜도 수전극에서는 매우 큰 전류의 변화를 얻는다.

바로 이것이 반도체3극소자에서 전류를 증폭하는 원리이다.

전자공학에서는 기초극전류의 변화량에 대한 수전극전류의 변화량을 **전류증폭결수**라고 하고 $\beta$(베타)로 표시한다.

즉 전류증폭결수 $\beta$는 다음과 같다.

$$\beta = \frac{\text{수전극전류의 변화량}}{\text{기초극전류의 변화량}}$$

반도체3극소자에서 방사극전류보다 수전극전류가 더 작은데 어떻게 증폭작용을 하겠는가?

그것은 방사극과 기초극사이에는 정방향전압을 걸어주었으므로 그 사이의 저항이 매우 작고(수십Ω정도) 수전극과 기초극사이에는 역방향전압을 걸어주었으므로 그 사이의 저항이 대단히 크기때문이다.(수MΩ정도)

옴의 법칙에 의하여 방사극과 기초극사이의 전압은 방사극과 기초극사이의 저항에 방사극전류를 곱한것이며 기초극과 수전극사이의 전압은 기초극과 수전극사이의 저항에 수전극전류를 곱한것으로 된다.

그러므로 방사극전압에 비한 수전극전압을 전압증폭결수로 표시하면 다음과 같다.

$$\text{전압증폭결수} = \frac{\text{수전극전압}}{\text{방사극전압}} = \frac{r_{\text{수}} I_{\text{수}}}{r_{\text{방}} I_{\text{방}}} \approx \frac{r_{\text{수}}}{r_{\text{방}}}$$

여기서 방사극전류와 수전극전류는 거의 같은것으로 볼수 있다.

만일 방사극과 기초극사이의 저항이 100Ω이고 수전극과 기초극사이의 저항이 1MΩ이라면 전압증폭결수는 1만배로 될것이다.

이와 같이 반도체3극소자는 작은 전류나 전압을 증폭한다.

## 2. 반도체3극소자의 회로련결방식

반도체3극소자를 전자회로에 리용할 때에는 입구회로와 출구회로가 있어야 한다. 여기서 입구회로라는것은 증폭하려는 작은 신호가 들어오는 회로이고 출구회로라는것은 증폭된 신호를 내보내는 회로이다.

반도체3극소자를 전자회로에 이어서 쓸 때에는 방사극, 기초극, 수전극가운데서 어느 하나를 공동으로 하여 입구회로와 출구회로를 이룬다.(그림 1-42)

그러므로 반도체3극소자의 련결회로는 어느 전극을 공동으로

쓰는가에 따라 기초극공동회로, 방사극공동회로, 수전극공동회로로 나눈다.

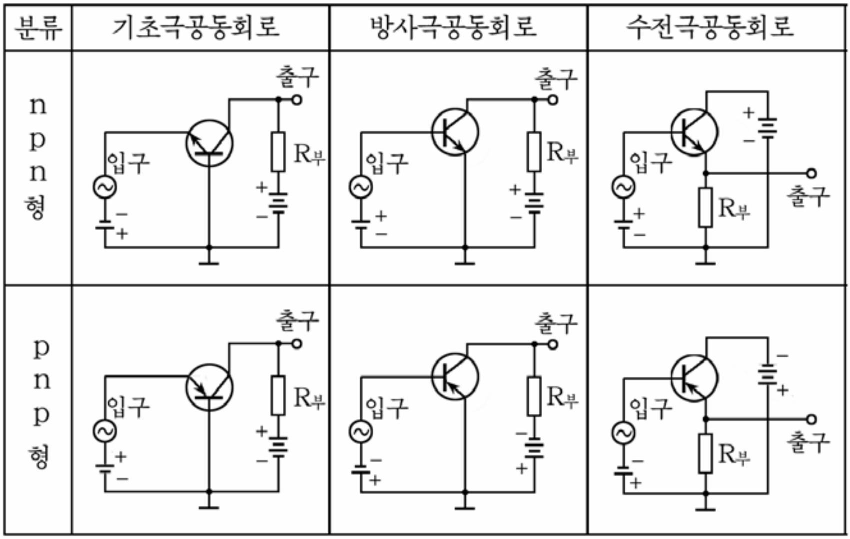



그림 1-42. 반도체3극소자의 세가지 련결방식

기초극공동회로에서는 기초극을 입구회로와 출구회로에 공동으로 하고 방사극과 기초극을 입구회로로, 기초극과 수전극을 출구회로로 하였다.

기초극공동회로의 우점은 동작이 안전한것이고 결함은 입구저항이 작은것이다.

방사극공동회로에서는 방사극을 입구회로와 출구회로에 공동으로 하고 기초극과 방사극은 입구회로로, 수전극과 방사극은 출구회로로 하였다.

방사극공동회로의 우점은 전력증폭을 크게 한다는것과 입구저항과 출구저항의 차이가 적은것이다.

따라서 증폭회로에서 많이 쓰인다.

그러나 결함은 기초극공동회로에 비하여 안전하지 못하고 주파수한계가 낮은것이다.

수전극공동회로는 수전극을 입구회로와 출구회로에 공동으로 하고 기초극과 수전극을 입구회로로, 수전극과 방사극을 출구회로로 리용한것이다.

수전극공동회로의 우점은 입구저항이 큰것이다. 따라서 신호원천과 반도체회로를 결합시킬 때 많이 리용한다.

그러나 증폭도는 거의 1이다.

수전극공동회로를 다른 말로 **방사극반복기**라고 부른다.

## 3. 반도체소자의 자호표시법

### (1) 반도체소자의 자호구성

① 반도체소자의 자호는 문자와 수자로써 구성한다.

② 문자는 우리 나라 문자로써 표시한다.(례; 가, 나, 다,라,…)

③ 수자는 두자리 또는 세자리수로 구성되며 첫 열개의 자연수(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)로 표시한다.

### (2) 자호순서와 표시방법

자호순서는 처음에 문자를 쓰고 련달아 수자를 2개 또는 3개 써야 한다. 즉

| 문자 | 수자 | 수자 | 수자 |
|---|---|---|---|
| ① | ② | ③ | ④ |

또는

| 문자 | 수자 | 수자 |
|---|---|---|
| ① | ② | ③ |

수자 ②가 0인 경우에는 표시하지 않으며 수자 ③과 수자 ④만을 표시한다.

※ 반도체3극소자에서 고주파소자는 한계주파수가 30㎒이상이고 저주파소자는 30㎒까지이다.

표 1-2에서 P수는 반도체3극소자의 수전극에 생기는 가장 큰 손실전력을 의미한다. 수전극으로 전류가 흐르면 일부 전력은 열로 넘어간다.

이와 같이 수전극에서 절로 소비된 전력을 **수전극손실전력**이라고 하는데 이것이 크면 열이 많이 나서 반도체소자가 못쓰게 된다.

그러므로 반도체소자가 못쓰게 되지 않을 정도로 열을 내는 손실전력을 가장 큰 손실전력이라고 한다.

정류전류는 정류소자가 정류할 때 최대로 흘릴수 있는 전류를 의미한다.

**반도체소자의 자호표시** 표 1-2

| 문자 ①의 표시 | | 수자 ②의 표시 | | 수자 ③파 수자 ④의 표시 |
|---|---|---|---|---|
| 소자의 종류를 표시 | | 소자의 기본정수(출력, 전압, 전류 등)의 구조에 의한 분류를 표시 | | 소자의 개발순서 또는 내부분류를 표시 |
| 기호 | 의미 | 기호 | 의미 | |
| 가 | pnp고주파 3극소자 | 0,1,2,3,4, 5,6, 7,8,9 | $P_{수}$<0.3W $P_{수}$=0.3~1W $P_{수}$>1W | 〃 |
| 나 | pnp저주파 3극소자 | | | |
| 다 | npn고주파 3극소자 | | | |
| 라 | npn저주파 3극소자 | | | |
| 마 | 마당효과 3극소자 | 0,1,2,3,4 | 이음형마당효과 3극소자 | 〃 |
| | | 5,6,7,8,9 | 금속산화물 마당효과3극소자 | |
| 검 | 검파2극소자 | 홀수(1,3,…) | 게르마니움소자 | 〃 |
| | | 짝수(2,4,…) | 규소소자 | |
| 안 | 전압안정소자 | 0,1,2,3, 4,5,6 | P<0.3 W | 〃 |
| | | | 0.3W≦P≦6W | |
| | | 7,8,9 | P>6W | |
| 빛 | 빛소자 | 0,1,2,3, 4,5,6 | 빛3극소자 | 〃 |
| | | | | |
| | | 7,8,9 | 빛2극소자 | |
| 정 | 정류소자 | 0,1,2,3 | $I_{정류}$<1A | 소자의 개발순서 또는 내부분류를 표시 |
| | | 4,5,6 | $I_{정류}$=1~100A | |
| | | 7,8 | $I_{정류}$>100A | |
| | | 9 | 조립형(묶음형) | |
| | | 0 | 극소형, 적층형 | |
| 조 | 조종용정류소자 | 0,1,2,3 | $I_{정류}$<1A | 〃 |
| | | 4,5,6 | $I_{정류}$=1~100A | |
| | | 7,8,9 | $I_{정류}$>100A | |

아주 작은 반도체소자는 표 1-3과 같이 색갈로 표시할수 있다.

① 문자는 자리만 내놓고 색표시는 정(양극)부터 시작한다.

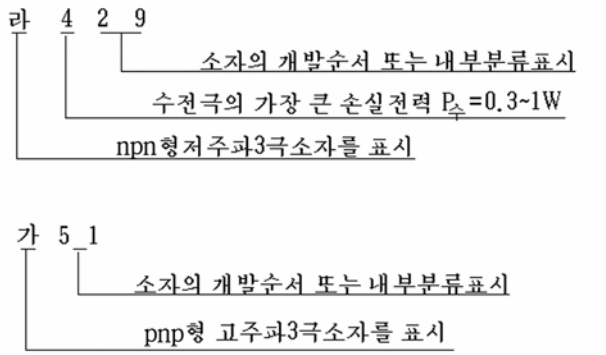
② 바탕색갈이 표시할 색갈과 같을 때에는 자리만 내놓는다.

③ 색갈의 크기와 형태는 개별소자규격에 따른다.

**반도체소자의 색갈표시** 표 1-3

| 수자 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 색갈 | 검은색 | 밤색 | 붉은색 | 감색 | 누런색 | 풀색 | 푸른색 | 보라색 | 재색 | 흰색 |

실례：




《가51》은《가051》에서〈가〉와〈5〉사이에 있는〈0〉을 쓰지 않은것이다.

그러므로 여기서 〈0〉은 $P_{수}$＜0.3W를 의미한다.

## 4. 반도체3극소자의 분류와 그 리용

### 1) 반도체3극소자의 분류

① 반도체3극소자는 만든 재료에 따라 규소반도체3극소자와 게르마니움반도체3극소자로 나눌수 있다.

② 반도체소자의 기본전류나르개에 따라 npn형반도체3극소자와 pnp형반도체3극소자로 나눈다.

③ 반도체3극소자는 동작주파수에 따라 저주파용3극소자, 중간주파용3극소자, 고주파용3극소자, 초고주파용3극소자로 나눈다.

여기서 저주파용3극소자는 주파수가 3㎒아래에서 쓰이고 중간주파용3극소자는 주파수가 30㎒부터 300㎒인데서 쓰이며 초고주파용3극소자는 주파수가 300㎒이상인데서 쓰인다.

④ 반도체3극소자는 출력에 따라 소출력소자, 중출력소자, 대출력소자로 나눈다.

여기서 소출력소자는 소비전력이 0.3W아래인 소자이고 중출력소자는 소비전력이 0.3W부터 1.5W사이에 쓰이는 소자이다.

그리고 대출력소자는 소비전력이 1.5W이상인 소자이다.

⑤ 반도체3극소자는 동작원리에 따라 쌍극성반도체3극소자(npn형반도체3극소자와 pnp형반도체3극소자)와 마당효과반도체3극소자로 나눈다.

### 2) 반도체3극소자의 리용

반도체3극소자를 전자회로에서 리용할 때에는 그의 종류와 특성 및 다리번호를 반도체편람에서 찾아야 한다.

여기서 중요한것은 전극들사이에 걸어줄수 있는 최대허용전압과 전류, 그리고 온도가 주어진 조건에서 반도체3극소자가 소비하는 전력을 잘 타산하는것이다.

이것을 **최대정격값**이라고 부르는데 반도체3극소자에서는 이러한 최대정격값을 넘게 하면 반도체소자의 수명이 짧아지고 특성이 나빠지며 순간적으로 못쓰게 될수 있다.

그러므로 반도체3극소자를 안정하게 동작시키자면 최대정격값보다 70~80%아래에서 리용해야 한다.

특히 수전극에 최대전압을 걸어주고 최대전류를 흐르게 하여 최대전력을 소비하게 하는것과 같은 현상은 절대로 없어야 한다.

다음 반도체3극소자를 리용할 때 반도체소자의 자호를 보고 pnp형인가, npn형인가를 확인한 다음 전원의 극성을 선택하여야 한다.

반도체3극소자의 다리번호는 편람이나 사용설명서에서도 찾아볼수 있지만 다음과 같은 방법으로 찾아볼수 있다.(그림 1-43)

그림 1-43의 ㄱ)는 수전극이 반도체소자의 외함에 이어져있으므로 반도체소자의 외함이 수전극으로 된다.

이때에는 수전극을 기준하여 시계바늘이 돌아가는 방향으로 수전극, 방사극, 기초극순서로 정한다.

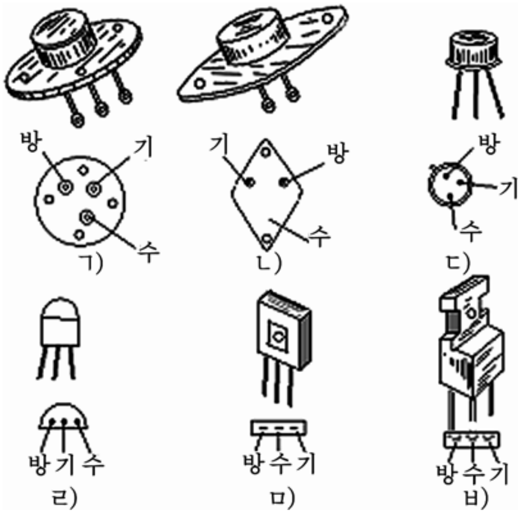



그림 1-43. 반도체3극소자의 다리찾기방법

그림 1-43의 ㄴ)에서와 같이 수전극다리가 따로없이 랭각틀로 되여있는 경우에는 그림과 같이 다리순서가 배치된다. 즉 반도체3극소자를 뒤집어 놓았을 때 마주 향해서 왼쪽이 기초극이고 오른쪽이 방사극이다.

그림 1-43의 ㄷ)와 같이 턱이 있는 3극소자는 그것을 뒤집어놓았을 때 턱을 기준으로 시계바늘과 같은 방향으로 돌아가면서 방사극, 기초극, 수전극의 순서로 다리가 배치된다.

그림 1-43의 ㄹ), ㅁ), ㅂ)와 같은 반도체3극소자들은 다리의 배치가 일직선으로 배렬되여있다.

이때 반도체소자의 다리는 왼쪽으로부터 방사극, 수전극, 기초극의 순서로 놓여있는것이 많다.

*반도체3극소자를 다룰 때 다음과 같은 점에 주의해야 한다.*

① 규정된 온도이상으로 열이 나지 않게 해야 한다.

게르마니움반도체3극소자는 온도가 55℃이상 넘으면 특성이 변하며 규소반도체3극소자는 온도가 150℃이상 넘으면 특성이 변한다.

그러므로 전압, 전류를 정격값이하에서 사용해야 한다. 출력소자들은 수전극에 랭각판을 달아주어 열이 나지 않게 해야 한다.

반도체3극소자를 납땜할 때 다리를 핀세트로 잡고 짧은 시간에 해야 한다.

② 특성이 같은것으로 골라써야 한다.

③ 심한 타격이나 진동을 주지 말아야 한다.

**［상식］ 첫 반도체소자의 발명**

1931년에 반도체에 대한 리론이 나오면서 반도체에 대한 리론적연구가 심화되고 그 제작기술이 발전하여 1940년에는 게르마니움2극소자가 개발되였다.

그후 1948년에는 쇼크리에 의하여 반도체점접촉3극소자가 개발되였으며 이때로부터 반도체에 대한 연구사업이 본격적으로 진행되였다. 전자관이 발명된 이후 반도체3극소자의 발명은 전자공학분야에서의 또 하나의 《기술혁명》이였다.

1950년에는 빛반도체3극소자, 1951년에는 접합반도체3극소자를 만들어내는데 성공하였으며 1952년에 띠녹임정제법으로 불순물함량이 $10^9$이하(순도가 99.999 999 9%이상)인 매우 순수한 반도체를 생산할수 있게 되였다.

［실습］ 회로시험기에 의한 측정

## 1. 회로시험기의 구조와 사용방법

### 1) 회로시험기의 구조

회로시험기는 전기 및 전자회로에서 전압, 전류, 저항 등의 값을 측정하며 선륜, 축전기, 반도체소자의 정상상태를 검사하는데 쓰이는 만능측정기구이다.

회로시험기는 그 종류가 많고 생긴 모양과 크기, 능력도 각이하지만 그것들의 기본구조와 동작원리는 다음과 같다.

여기서는 흔히 볼수 있는 《ㅎㅈ-10-1》형회로시험기를 보기로 하자.(그림 1-44)

① 지시계기

지시계기는 회로시험기의 구조에서 기본을 이룬다. 지시계기의 눈금판에서 〈DC〉는 직류전압(또는 직류전류)눈금, 〈AC〉는 교류전압눈금, 〈Ω〉은 저항눈금임을 표시하는 기호이다.

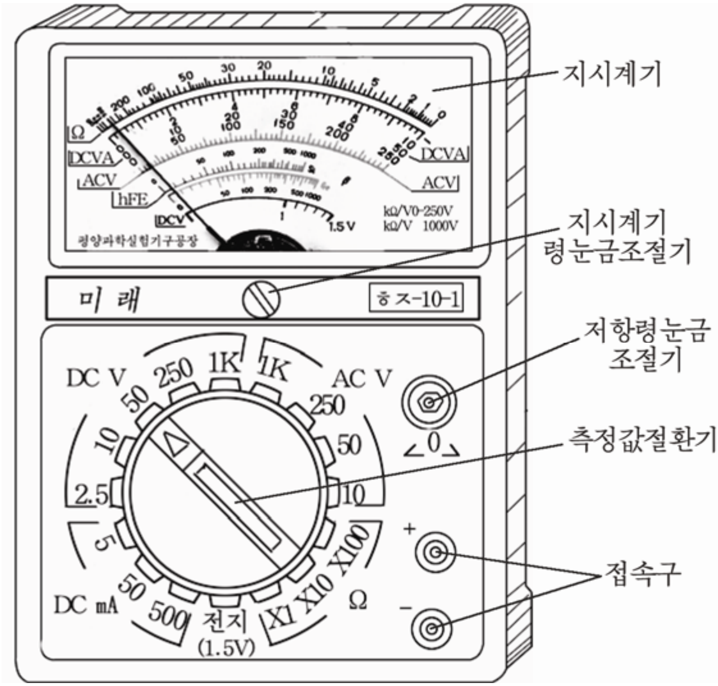



그림 1-44. 회로시험기

② 측정값절환기

측정값절환기는 측정하려는 량이 직류인가 교류인가, 전압인가 전류인가 또는 저항인가에 따라 회로시험기를 전압계, 전류계, 저항계로 바꾸어주기 위한것이다.

측정하려는 량이 직류전압일 때는 〈DCV〉쪽에, 교류전압일 때는 〈ACV〉쪽에, 직류전류일 때는 〈DCmA〉쪽에, 저항일 때는 〈Ω〉쪽에 돌려놓는다.

측정값절환기의 밑판둘레에 새겨져있는 수자들은 해당한 전압, 전류, 저항값들의 최대측정범위를 표시한다.

③ 지시계기령눈금조절기

이것은 회로시험기로 측정하기에 앞서 계기바늘이 령눈금을 가리키도록 조정하기 위한 조절기이다.

④ 저항령눈금조절기

저항측정에 앞서 계기바늘이 〈Ω〉눈금에서 령을 가리키도록 조정하기 위한 조절기구이다.

⑤ 접속구

접속구는 측정봉을 회로시험기와 련결하기 위한 구멍이다. 회로시험기의 내부에 있는 건전지의 〈+〉극은 〈-〉표식을 한 접속구와 〈-〉극은 〈+〉표식을 한 접속구와 련결되여있다.

### 2) 회로시험기의 사용방법

#### (1) 전압과 전류의 측정방법

① 측정봉의 접속두를 접속구에 꽂는다.

② 측정값절환기를 측정하려는 량이 전압인가 전류인가 또는 교류인가 직류인가에 따라 〈DCV〉, 〈ACV〉, 〈DCmA〉중의 해당한 쪽으로 돌린다.

이때 측정하려는 값의 범위를 대략적으로 알고있으면 그보다 약간 높은 수자에 맞추고 측정을 진행한다.

만일 측정값을 예상할수 없는 경우에는 해당한 측정대역의 제일 큰 값에 맞추고 측정하여 바늘이 움직이는 정도를 보고 알맞는 자리를 선택한다.

③ 회로시험기의 두 측정봉을 측정하려는 대상에 갖다댄다.

이때 전류를 측정하려면 회로시험기가 회로에 직렬로 련결되여야 하며 전압을 측정하려면 측정대상에 병렬로 련결되게 해야 한다.

직류전압이나 전류를 측정할 때 회로시험기의 접속구에 표시된 극성표시기와 측정대상의 극성이 같아지도록 측정봉을 대야 한다. 만일 반대로 하면 계기바늘이 거꾸로 움직이면서 계기를 못쓰게 만들수 있다.

교류는 극성이 따로 구별되여있지 않으므로 측정할 때 극성을 고려하지 않아도 된다.

④ 지시계기의 전압 또는 전류눈금에서 바늘이 가리키는 값을 읽는다.

⑤ 바늘이 가리킨 값으로부터 측정값을 구한다. 측정값을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{측정값} = \frac{\text{바늘이 가리킨 값}}{\text{눈금판의 최대값}} \times \text{측정범위}$$

［례］지시계기의 눈금판에서 교류전압눈금의 최대값은 250이다. 측정값절환기를 〈ACV〉의 수자 250에 놓고 측정했는데 바늘이 눈금에서 150을 가리켰다면 측정값은 얼마인가?

$$측정값 = \frac{150}{250} \times 250 = 150(V)$$

**(2) 저항값측정방법**

① 측정값절환기를 〈Ω〉대역의 알맞는 자리에 돌려놓는다.

② 두 측정봉을 서로 맞대고 저항령눈금조절기로 바늘이 저항눈금에서 령을 가리키도록 조정한다.

③ 측정하려는 대상의 량쪽에 두 측정봉을 각각 대고 계기눈금판에서 바늘이 가리키는 값을 읽는다.

④ 바늘이 가리킨 값으로부터 측정값을 구한다.

이때 측정값절환기를 〈×1〉에 놓았을 때는 바늘이 가리키는 값이 측정값이고 〈×10〉에 놓았을 때는 바늘이 가리킨 값에 10을 곱해주면 된다.

또한 〈×100〉에 놓았을 때는 100을 곱해주면 된다.

**3) 회로시험기를 사용할 때 주의할 점**

①측정봉을 측정대상에 갖다대기전에 반드시 측정값절환기가 해당한 측정대역에 정확히 놓였는가를 확인해야 한다.

② 측정봉을 측정대상에 갖다댄 상태에서 측정값절환기를 돌리지 말아야 한다.

바늘이 가리키는 눈금값을 읽을 때에는 바늘과 곧추되게 보면서 읽어야 한다. 그래야 측정에서 오차가 적어진다.

③ 저항을 측정한 다음에는 측정값절환기를 전압 또는 전류대역으로 돌려놓아야 한다. 이것은 회로시험기안의 건전지가 방전되지 못하게 하기 위해서이다.

④ 회로시험기는 항상 조심히 다루며 떨구거나 충격을 주지 않도록 해야 한다.

## 2. 회로시험기에 의한 저항기, 축전기, 선륜 및 변성기의 검사

### 1) 회로시험기에 의한 저항기의 측정

**실습준비**

회로시험기, 저항기실물표본함

**실습방법**

① 측정값절환기를 〈Ω〉쪽의 알맞는 자리에 돌려놓는다.

② 두 측정봉을 맞대고 저항령눈금조절기를 돌려 바늘이 저항

눈금의 령을 가리키도록 조정한다.

③ 측정봉을 측정하려는 저항기의 두 인출선에 각각 대고 눈금판에서 바늘이 가리키는 값을 읽는다.

④ 측정값절환기의 위치에 따라 바늘이 가리킨 눈금값으로부터 실지 저항값을 계산하여 얻는다.

⑤ 저항기의 겉면에 새겨진 자호를 읽고 실지 측정하여 얻은 저항값과 정격저항사이의 차이가 허용편차범위안에 있는가를 확인한다.

이와 같은 방법으로 여러가지 종류와 규격의 저항기들에 대하여 저항값측정실습을 진행한다.

*주의할 점*

① 전자장치에서 저항기를 검사할 때에는 전원을 끄고 저항기의 한쪽 다리를 회로에서 분리시킨 다음 측정하여야 한다. 그래야 정확히 측정할수 있다.

② 저항기의 저항값을 측정할 때 사람의 손이 저항기의 인출선에 닿지 않도록 해야 한다. 그렇지 않으면 측정에서 사람몸저항에 의한 오차가 생긴다.

③ 저항측정은 될수록 짧은 시간안에 해야 한다.

만일 오래 측정하면 회로시험기의 내부에 있는 건전지가 많이 방전될수 있다.

### 2) 회로시험기에 의한 축전기의 검사

**실습준비**

회로시험기, 축전기

**실습방법**

① 측정값절환기를 〈Ω〉쪽에 돌려놓고 저항령눈금조절기로 저항령눈금조정을 진행한다.

② 회로시험기의 두 측정봉을 검사하려는 축전기의 두 인출선에 각각 댄다.

③ 바늘의 움직임을 보고 축전기의 정상상태를 판단한다.

바늘이 계속 0눈금을 가리키거나 ∞를 가리키면 축전기가 못쓰게 된것이다.

그러나 측정봉을 갖다 대는 순간 바늘이 일정한 저항값을 가리켰다가 천천히 제자리(∞)로 돌아오면 축전기는 정상이다.

축전기의 용량이 클수록 계기바늘이 더 많이 움직인다.

용량이 작은 축전기에서는 바늘이 약간 움직이거나 전혀 움직이지 않아야 정상이다.

*주의할 점*

① 전자장치에 조립된 축전기를 검사할 때에는 전원을 끄고 축전기의 한쪽 다리를 분리시킨 다음 검사해야 한다.

② 축전기의 두 인출선에 손이 닿지 않게 하고 검사해야 한다.

③ 용량이 크고 내압이 높은 축전기를 검사할 때에는 충전되였던 전기량을 방전시킨 다음 검사해야 한다.

### 3) 회로시험기에 의한 선륜과 변성기의 검사

**실습준비**

회로시험기, 선륜과 변성기

**실습방법**

① 측정값절환기를 돌려 회로시험기를 저항측정상태로 만든다.

② 선륜을 검사할 때는 측정봉을 선륜의 두 단자에 댄다.

이때 계기바늘이 저항눈금에서 0을 가리키거나 수Ω의 저항을 가리키면 선륜이 끊어지지 않고 정상이라는것을 의미한다.

그러나 ∞를 가리키면 선륜이 끊어진것이다.

③ 변성기를 검사할 때는 먼저 1차권선과 2차권선을 갈라낸다.

다음 1차권선과 2차권선이 끊어지지 않았는가, 권선들과 철심이 맞붙지 않았는가를 검사한다.

이때 서로 맞붙었으면 바늘이 령을 가리키고 맞붙지 않았으면 ∞를 가리킨다.

*주의할 점*

① 전자회로에 조립되여있는 선륜이나 변성기를 검사할 때에는 전원을 끄고 한개단자를 회로에서 떼낸 다음 검사하여야 한다.

② 선륜과 변성기의 권선저항을 측정하는 방법으로 그의 정상상태와 맞닿이상태를 분간하기는 힘들다.

그러므로 선륜이나 변성기권선의 저항을 미리 알고 검사하여야 한다.

［실습］ 회로시험기에 의한 반도체소자의 검사방법

1. 반도체 2 극소자의 검사방법

**실습준비**

회로시험기, 반도체2극소자

**실습방법**

① 측정값절환기를 돌려 회로시험기를 저항측정상태에 놓는다.

반도체2극소자의 정방향저항은 작고 역방향저항은 크다. 이것을 리용하여 저항을 측정해보는 방법으로 검사한다.

② 반도체2극소자의 정방향저항과 역방향저항을 측정한다.(그림 1-45)

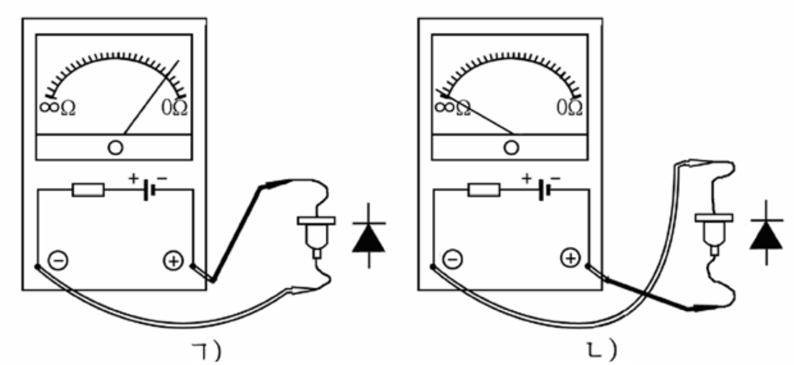



**그림 1-45. 반도체2극소자의 검사방법**

ㄱ- 정방향저항측정, ㄴ- 역방향저항측정

회로시험기로 2극소자의 저항을 측정했을 때 어느 측정봉을 어느쪽에 대는가에 따라 한번은 작은 저항을 나타내고 한번은 거의 ∞의 저항을 나타낸다면 소자가 정상이라는것을 의미한다.

만일 정방향저항과 역방향저항이 다 같이 ∞이면 이 소자는 내부가 끊어져 못쓰게 되였다는것이고 정방향저항과 역방향저항이 다같이 0을 가리키면 소자내부의 pn이음부가 맞닿이되여 못쓰게 되였다는것을 말해준다.

③ 반도체2극소자의 양극과 음극을 찾는다.

2극소자의 겉통에 표식이 있는 경우에는 양극과 음극을 쉽게 찾

을수 있으나 표식이 없는 경우에는 회로시험기로 양극과 음극을 찾아야 한다.

회로시험기로 2극소자의 양극과 음극을 찾는 방법은 다음과 같다.

회로시험기의 두 측정봉을 2극소자에 정방향저항을 가리키도록 대였을 때 회로시험기의 〈-〉접속구와 련결된 다리가 양극이고 〈+〉접속구와 련결된 다리가 음극이다.

## 2. 반도체3극소자의 검사

**실습준비**

회로시험기, 반도체3극소자

**실습방법**

① 측정값절환기를 돌려 회로시험기를 저항측정상태로 놓는다.

② 기초극, 방사극, 수전극다리를 찾고 3극소자의 정상상태를 검사한다. 반도체3극소자는 그림 1-46과 같이 반도체2극소자 2개가 정방향과 역방향으로 련결된것으로 볼수 있다. 그러므로 회로시험기로 3극소자의 세 다리에 〈+〉와 〈-〉측정봉을 엇바꾸어가면서 매전극사이의 저항을 측정하는 방법으로 소자를 검사할수 있다.

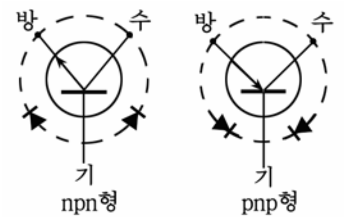


그림 1-46. 3극소자를 2극소자 2개로 표시한것

먼저 기초극을 찾는다.

회로시험기로 기초극을 찾는 방법은 다음과 같다.

어느 한 측정봉을 3극소자의 어느 한 다리에 대고 다른 측정봉을 나머지 두 다리에 각각 대보았을 때 모두 큰 저항을 나타내거나 작은 저항을 나타내면 처음에 측정봉을 대고있는 다리가 기초극이다.

다음은 방사극과 수전극을 갈라낸다.

기초극과 다른 두 다리사이의 정방향저항을 각각 측정했을 때 보다 작은 저항을 나타내는 다리가 방사극이고 나머지가 수전극이다.

이상과 같은 검사방법은 3극소자가 정상인 경우에 가능하다. 만일 3극소자가 파손되였으면 전극들사이의 저항이 정방향이든 역방향

이든 관계없이 항상 0 혹은 ∞로 된다.

③ 3극소자가 npn형소자인가 pnp형소자인가를 판정한다.

회로시험기의 〈-〉측정봉을 기초극에 대고 〈+〉측정봉을 방사극과 수전극에 각각 댈 때 저항이 모두 작게 나타나면 이 3극소자는 npn형이다.

반대로 〈+〉측정봉을 기초극에 대고 〈-〉측정봉을 방사극과 수전극에 각각 댈 때 저항이 모두 작으면 이 3극소자는 pnp형이다.

［참고자료］

### 반도체빛소자

반도체빛소자는 반도체에 빛을 쪼여주었을 때 저항이 변하거나 전압이 생기는 원리를 리용하여 만든 소자이다.

반도체빛소자에는 반도체빛저항기, 반도체빛2극소자, 반도체빛3극소자가 있다.

### 반도체빛저항기

반도체빛저항기란 반도체에 빛을 쪼여줄 때 저항이 작아지는 성질을 리용한 반도체저항기를 말한다.

반도체빛저항기는 빛을 비쳐주지 않을 때에는 저항이 매우 크지만 (수~수백MΩ)빛을 비쳐주면 저항이 수kΩ으로 작아진다.

### 반도체빛 2 극소자

반도체빛2극소자란 빛에네르기를 전기에네르기로 바꾸어주는 반도체2극소자를 말한다.

반도체빛2극소자의 작용원리는 pn이음에서 빛에네르기에 의하여 전자-구멍쌍이 생겨 전류가 흐르는데 기초하고있다.

### 반도체빛3극소자

반도체빛3극소자란 빛에네르기를 전기에네르기로 바꾸어주는 반도체3극소자를 말한다.

빛3극소자는 빛2극소자보다 빛수감도가 크다. 그러므로 빛스위치, 광학록음을 비롯한 빛전기회로에 널리 쓰인다.

반도체빛3극소자는 규소나 게르마니움을 써서 npn형이나 pnp형으로 만든다.

## 제6절. 집적회로

위대한 령도자 **김정일**원수님께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《집적회로소자를 개발하는것은 전자공업을 발전시키는데서 기본입니다. 전자공업발전은 집적회로소자를 만드는데로부터 시작됩니다.》

현시기 과학기술발전에서 큰 힘을 넣어야 할 부문의 하나는 극소형전자부문이다. 이 부문에서 중심을 이루는것은 여러가지 집적회로를 만들어내는것이다. 그러므로 집적회로소자를 개발하고 만들어내는것은 전자공업을 발전시키는데서 기본으로 된다.

위대한 수령님과 위대한 장군님의 현명한 령도에 의하여 오늘 우리 나라에는 현대적인 집적회로생산기지가 튼튼히 꾸려져 인민경제를 정보화, 현대화할수 있는 전자요소들이 수많이 생산되고있다.

우리는 현대적인 전자요소들을 더 많이 개발리용하는데서 나서는 과학기술적문제를 풀기 위하여 이 부문에 대한 학습을 잘하여야 한다.

이 절에서는 집적회로의 개념과 종류, 표시방법, 다리찾기방법에 대하여 학습하게 된다.

### 1. 집적회로란 무엇인가

집적회로란 수많은 전자요소들을 하나의 작은 반도체결정속에 집어넣어 서로 뗄수 없게 련결하여 그것이 어떤 회로적기능을 수행하도록 만든 전자요소를 말한다. 다시말하여 집적회로는 회로를 모아쌓았다는 뜻이다. 집적회로는 간단히 IC라고도 부른다.(그림 1-47)




**그림 1-47. 집적회로의 외형**

ㄱ—량쪽다리뻗침형, ㄴ—량쪽다리구부림형, ㄷ—한쪽다리뻗침형

## 집적회로는 어떤 특징을 가지고있는가?

**우점**

① 집적회로를 쓴 전자장치는 다른 반도체장치보다 고장이 적고 믿음성이 대단히 높다.

그것은 전자장치들에서의 고장이 주로 전자요소들을 련결하는 납땜부문에서 생기는데 집적회로에서는 이러한 납땜부분이 없으므로 고장은 거의 없다.

② 집적회로를 쓰면 전자장치들의 동작속도가 매우 빨라진다.

그것은 개별적인 소자들로 전자장치를 만들면 전기배선의 길이가 길어지고 주파수특성이 나빠지며 동작속도가 떨어지게 된다. 그러나 집적회로에서는 요소한개의 크기가 매우 작고 그것들이 모두 한개의 쪼각안에 들어가서 련결되므로 동작속도가 매우 빨라진다.

③ 집적회로를 쓴 전자장치들은 체적이 매우 작고 질량이 가볍다.

반도체집적회로에서는 1㎤속에 수백만여개까지의 전자요소들을 집어넣을수 있다.

④ 집적회로를 쓴 전자장치들은 전력소비가 아주 작다.

⑤ 집적회로를 쓰면 전자장치들의 값이 눅어지고 많은 로력과 자재를 절약할수 있다.

**결함**

① 집적회로속에 만들수 있는 저항기의 저항값과 축전기의 용량값이 제한되여있는것이다.

② 집적회로속에 유도도 L은 만들수 없는것이다.

③ 집적회로속에 있는 반도체소자들의 주파수특성이 제한된다는것이다.

집적회로는 이러한 결함을 가지고있지만 전자공업이 급속히 발전함에 따라 점차 해결되고있다.

## 집적회로를 만드는 원리는 무엇인가

집적회로는 반도체의 성질을 리용하여 저항이나 축전기를 비롯한 반도체2극소자 및 반도체3극소자를 만들어넣는 방법으로 제작한다.

그러면 반도체를 가지고 어떻게 집적회로속에 전자요소들을 만드는가를 보자. (그림 1-48)

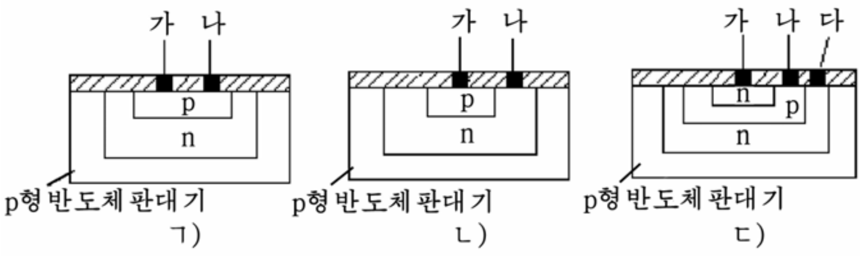



**그림 1-48. 집적회로속에 전자요소만들기**

우선 그림 1-48의 ㄱ)와 같이 p형반도체로 된 판대기우에서 한곳에는 n형반도체층을 만들고 다시 그우에 p형반도체층을 차례로 만든다.

그리고 이렇게 만든 반도체층들에 전극〈가〉와 〈나〉를 붙여주면 전극 〈가〉와 〈나〉사이에 있는 p형반도체가 하나의 저항으로 된다.

또한 전극 〈가〉와 〈나〉를 그림 1-48의 ㄴ)와 같이 n형반도체쪽으로 옮겨붙이고 전극 〈가〉와 〈나〉사이에 역방향전압을 걸어주면 이 pn이음에서 전기용량이 생겨(가변용량2극소자처럼) 축전기가 된다.

반대로 전극 〈가〉와 〈나〉사이에 정방향전압을 걸어주면 이 pn이음은 반도체2극소자로 된다.

다음 그림 1-48의 ㄷ)와 같이 이미 만든 반도체층우에 다시 n형반도체층을 하나 더 만들어주고 여기에 세개의 전극 〈가〉(방사극), 〈나〉(기초극), 〈다〉(수전극)을 붙이면 반도체3극소자가 된다.

이와 같이 반도체성질을 리용하여 하나의 매우 작은 반도체결정속에 수많은 전자요소들을 만든다.

## 2. 집적회로의 분류

① 집적회로는 만드는 방법에 따라 반도체집적회로, 박막집적회로, 혼성집적회로로 나눈다.

반도체집적회로는 반도체규소단결정우에 3극소자, 2극소자, 저항기, 축전기를 만들고 그것들을 서로 내부에서 련결하여 전자회로를 구성한것이다.

● **박막집적회로**- 유리나 사기와 같은 절연물판대기우에 얇게 반도

체재료를 발라 그것으로 저항기, 축전기, 반도체3극소자를 만들고 그것들을 련결하여 전자회로를 구성한것이다.

● **혼성집적회로**- 반도체집적회로와 박막집적회로를 결합하여 전자회로를 구성한것이다.

② 집적회로는 신호의 형태에 따라 수자형집적회로와 상사형집적회로로 나눈다.

● **수자형집적회로**- 스위치가 동작할 때 전원을 넣거나(전기가 흐르는 상태)전원을 끊어주는것(전기가 흐르지 않는 상태)과 같은 두가지 전기적상태로만 동작하는 회로를 말한다. 다시말하여 전기가 흐르는 상태를 1, 전기가 흐르지 않는 상태를 0으로 하여 0과 1의 상태만을 가지는 론리회로기능을 수행하는 집적회로이다.

수자형집적회로는 현재 집적회로기술에서 기본을 이루고 콤퓨터나 자동조종분야에서 매우 널리 쓰이고있다.

● **상사형집적회로**- 수자형집적회로와 달리 신호가 끊어지지 않고 련속적으로 변하는 상태의 신호를 다루는 집적회로이다.

다시말하여 신호가 끊어져 띠염띠염 놓이는 상태가 아니라 라지오나 TV신호와 같이 입구신호와 출구신호가 언제나 어떤 일정한 관계를 유지하는 회로기능에 쓰이는 집적회로이다.

상사형집적회로는 라지오수신기, TV, 록음기와 같은 전자기구들과 측정설비에서 주로 쓰인다.

③ 집적회로는 한개의 집적회로소자속에 전자요소가 얼마나 들어있는가에 따라 소규모집적회로, 중규모집적회로, 대규모집적회로로 나눈다.

● **소규모집적회로**- 한개의 집적회로소자속에 전자요소가 100개이하로 들어간 규모가 작은 집적회로이다. 이 소규모집적회로에는 상사형집적회로의 매 부분과 여러가지 문회로, 방아쇠회로 등 간단한 수자형회로가 들어간다.

● **중규모집적회로**-한개의 집적회로소자속에 전자요소가 100~1 000개 들어있는 집적회로이다.

이 중규모집적회로에는 해신기, 계수기, 옮김등록기를 비롯한 회로구성을 수행하는 집적회로가 들어간다.

● **대규모집적회로**- 한개의 집적회로속에 전자요소가 1 000개이상

들어있는 큰 집적회로이다. 대규모집적회로에는 반도체기억기, 시계용집적회로, 탁상형콤퓨터용집적회로, 극초소형연산처리소자를 비롯한 특수한 기능을 수행하는 집적회로가 들어간다.

지금은 대규모집적회로보다 더 많은 전자요소를 가지는 초대규모집적회로가 생산되여 쓰이고있다.

## 3. 집적회로의 다리찾기방법

집적회로는 반도체와 달리 다리가 많기때문에 갈라보기 쉽게 하기 위하여 매 다리마다 번호를 붙인다.(그림 1-49)

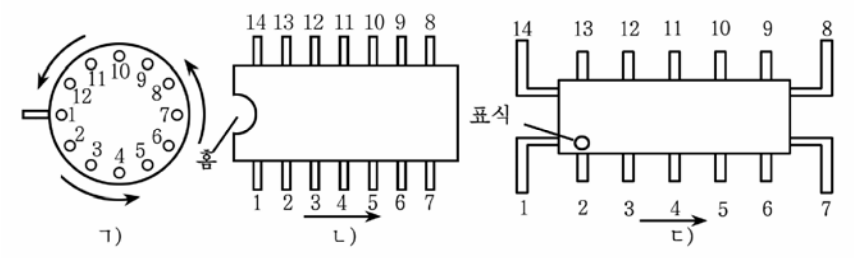



**그림 1-49. 집적회로의 생긴 형태와 다리번호**

ㄱ-한쪽다리뻗침형, ㄴ-량쪽다리구부림형 ㄷ-량쪽다리뻗침형

집적회로는 뒤집어 다리번호를 보는것이 아니라 웃쪽에서부터 시계바늘이 도는 방향과 반대로 1, 2, 3, … , 14로 번호를 붙여나간다.

그림 1-49의 ㄱ)와 같이 한쪽다리뻗침형에서는 다리가 8~12개 있는데 턱이 있는것을 기준으로 시계바늘이 도는 방향과 반대로 번호를 붙인다.

그림 1-49의 ㄴ)와 같이 량쪽다리구부림형에서는 패여진 홈이 있는 곳을 기준으로 시계바늘이 도는 방향과 반대로 번호를 붙인다.

그리고 그림 1-49의 ㄷ)와 같이 량쪽다리뻗침형에서는 웃쪽과 아래쪽을 갈라보기 힘들기때문에 집적회로의 1번다리에는 특별한 표식(점이나 색갈)을 하고 이것을 기준으로 시계바늘이 도는 방향과 반대방향으로 번호를 붙여나간다.

［참고자료］

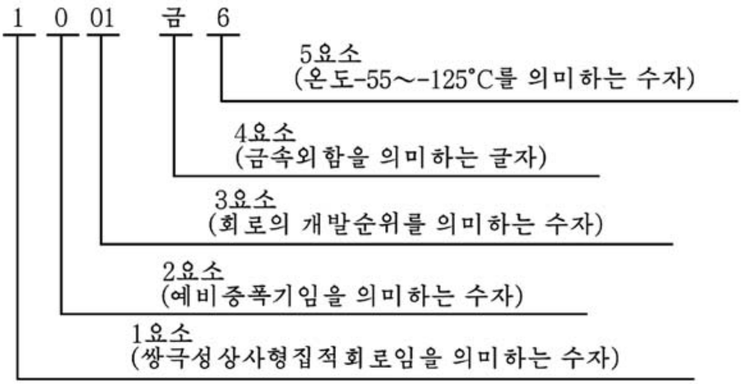
## 집적회로의 자호표시방법

집적회로의 자호표시방법은 완전표시방법과 간략표시방법이 있다.

**완전표시방법**

완전표시방법은 5개의 요소로 한다.

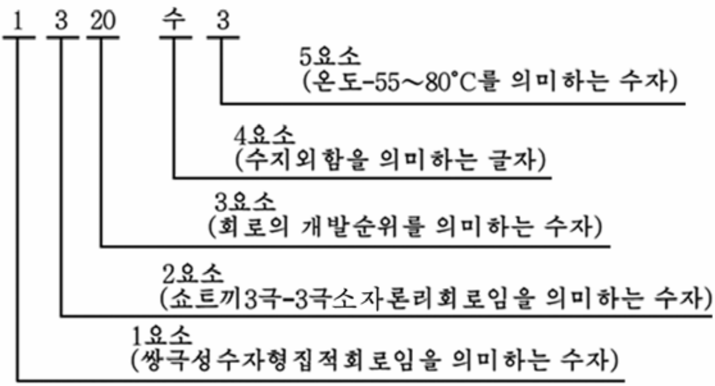
**실례 1:**




온도 -55°~125℃의 범위에서 쓰이는 금속외함으로 된 쌍극성저주파소출력예비증폭소자의 자호표시방법은 다음과 같이 한다.

**실례 2:**

온도 -25~80℃의 범위에서 쓰이는 수지외함으로 된 쌍극성쇼트끼2중4입구론리곱하기부정문회로의 자호표시는 다음과 같이 표시한다.



**간략표시방법**

집적회로의 간략표시방법은 1, 2, 3요소만으로 또는 1, 2요소만으로 하여야 한다.

**실례 1:** 쌍극성저주파소출력예비증폭기
1 0 0 1

**실례 2:** 쌍극성쇼트끼2중4입구론리곱하기부정문회로
2 3 2 0

## 4. 집적회로의 사용에서 주의하여야 할 점

집적회로를 사용할 때에는 어떤 조건에서도 사용지도서에 규정되여있는 최대정격값을 절대로 넘기지 말아야 한다.

① 쓰지 않는 다리를 수자형집적회로에서는 전원전압에 직접 잇든지 1kΩ정도의 저항을 거쳐 전원전압에 이어야 한다.

또한 금속산화물반도체집적회로에서는 쓰지 않는 빈 입구다리를 접지시키거나 다른 입구의 공동으로 결선하여야 한다.

② 전원전압은 사용지도서에 규정된 전압범위에서 써야 한다.

③ 금속산화물반도체집적회로에서는 조종극이 매우 약하기때문에 사람의 손이 직접 닿지 않게 하여야 한다.

④ 집적회로는 온도의 영향을 매우 심하게 받기때문에 납땜할 때 짧은 시간동안에 진행하여야 한다.

특히 전기인두는 낮은 전압에서 쓰도록 특별히 만든것을 사용하여야 한다.

**[상식] 집적회로의 발명**

집적회로가 처음으로 나온것은 1959년경인데 이 해에 대지형3극소자와 규소부피저항을 결합한 집적회로제작기술이 소개되였으며 저항-3극소자론리회로가 발명되였다.

지금과 같은 반도체집적회로가 나온것은 1960년대부터였다.

1960년에 2극-3극소자론리회로, 1963년에 3극-3극소자론리회로가 개발되였다. 1965년에 소비전력이 작은 전력3극-3극소자론리회로가 나왔다.

한편 1963년에 금속산화물반도체3극소자가, 1964년에 금속산화물반도체집적회로가 나왔으며 그에 뒤이어 1969년에는 탁상형콤퓨터용금속산화물반도체대규모집적회로가 개발되였다.

# 제2장. 전원회로

경애하는 수령 **김일성**대원수님께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 하루빨리 전기에 대한 지식을 높이고 누구나 다 어떻게 하면 전력을 더 많이 생산하고 더 많이 절약하며 어떻게 하면 전력소비기준을 더 낮추고 도중손실을 없앨수 있겠는가에 대하여 생각하도록 하여야 합니다.》

모든 전원회로 또는 전자장치들은 규정된 전압과 전류를 정확히 보장해주어야 제대로 동작할수 있으며 자기의 성능을 충분히 낼수 있다.

따라서 전원회로에 대하여 잘 아는것은 회로나 장치들에서 요구하는 전압과 전류를 보장하여 그것이 자기의 사명과 성능을 충분히 내도록 하는것은 물론 귀중한 전력을 절약하도록 하는데서 중요한 의의를 가진다.

보통 전자회로에서 요구되는 전압과 전류는 직류이다. 그런데 발전소로부터 공급되는 전력은 모두 교류이므로 이것을 전자회로에서 쓰자면 교류를 직류로 바꾸는 회로가 있어야 한다.

전자공학에서 **전원회로**라고 말할 때는 주로 교류를 직류로 변환하는 회로를 의미하고있다.

전원회로는 변압기, 정류회로, 평활려파회로, 직류전압안정회로 등으로 이루어진다.(그림 2-1)

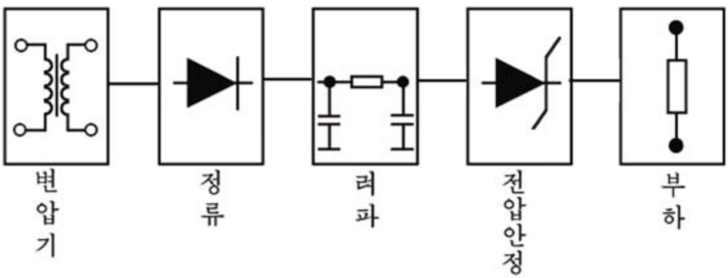



그림 2-1. 전원회로의 구성

# 제1절. 정류회로

정류회로란 교류를 직류로 바꾸는 장치를 말한다.

정류회로는 보통 전원변압기와 교류를 직류로 바꾸는 정류변, 정류된 전류에 포함되여있는 교류성분을 제거하는 평활려파기로 구성된다.

정류회로는 정류변으로 어떤 요소를 썼는가에 따라 반도체2극소자정류회로, 조종용정류소자정류회로 등으로 나눈다.

정류회로는 또한 정류방법에 따라 반파정류회로, 전파정류회로, 배전압정류회로로 나누며 상수에 따라 단상정류회로, 3상정류회로 등으로 나눈다.

반도체정류회로에서 교류를 직류로 바꾸는 기본작용은 정류변을 이루는 정류용2극소자가 한다.

여기서는 정류용2극소자의 기본정수와 우리 나라에서 생산되는 정류용2극소자와 자호 보는 방법에 대하여 보자.

정류용2극소자의 기본정수는 최대역전압, 파괴전압, 정격교류입구전압, 최대정류전류 등이다.

최대역전압은 2극소자에 역방향으로 걸수 있는 직류전압의 최대값이며 파괴전압은 역방향전압을 증가시킬 때 역방향전류가 급격히 증가하는 점의 전압이다.

정격교류입구전압은 정류회로에 걸어줄수 있는 최대교류입구전압이며 최대정류전류는 정류용2극소자에 최대로 흐를수 있는 정방향전류이다.

그림 2-2에 정류용2극소자의 전압-전류특성을 보여주었다.

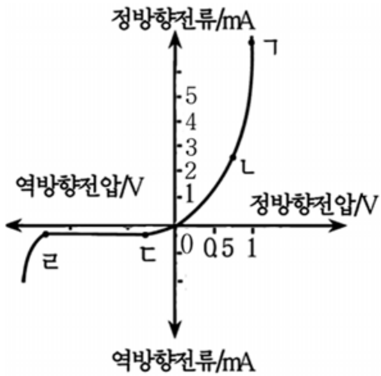


그림 2-2. 정류용2극소자의 전압-전류특성곡선

그림에서 보는바와 같이 정방향(+)전압구간에서는 전압 U가 커짐에 따라 전류 I가 급격히 증가한다.

역방향전압이 걸렸을 때는 역전류 $I_0$이 아주 작은 값을 가지며 거의

일정하다.

이와 같이 반도체2극소자는 한쪽방향으로서의 전도성을 가지며 정류특성이 아주 좋다.

우리 나라에서 생산되는 정류용2극소자는 자호의 맨앞에 정류소자라는 의미에서 《정》이라는 글자를 쓴다.

례를 들면 정236, 정412, 정812를 들수 있다.

우리 나라에서 생산되는 정류용2극소자는 크게 4가지 계렬 즉 정200계렬, 정400계렬, 정600계렬, 정800계렬로 나눈다. 이렇게 나누는 기본지표는 역방향전압과 정류전류이다.

정200계렬의 정류전류는 0.1~1A, 정400계렬은 3~10A, 정600계렬은 20~100A, 정800계렬은 200A이다.

역방향전압은 매개 계렬에서 마지막수자로 표시한다. 례를 들면 정200은 50V, 정225는 500V이다.

마지막수자가 7~9에서는 그 수자보다 100, 200, 300V씩 높아진다.

례를 들면 정237은 800V, 정238은 1 000V, 정239는 1 200V이다.

표 3-3에는 정류용2극소자의 매 계렬에서 한가지씩만 소개하였다.

**정류용2극소자의 정수** 표 3-3

| 정수 / 소자이름 | 최대역전압/V | 파괴전압/V | 정격입구전압/V | 최대정류전류/A |
|---|---|---|---|---|
| 정222 | 200 | 300 | 60 | 0.1 |
| 정410 | 50 | 75 | | 5 |
| 정626 | 600 | 900 | 180 | 100 |
| 정812 | 200 | 300 | 60 | 200 |

## 1. 반파정류회로

반파정류회로란 교류전압의 〈+〉반주기동안에만 부하로 전류를 흘려보내고 〈-〉반주기동안에는 전류를 차단하는 정류회로를 말한다.

### 1) 회로구성과 동작원리

그림 2-3에 반파정류회로를 보여주었다.

그림에서 보는바와 같이 이 회로는 한개의 정류소자와 전원변

압기 〈변〉, 부하 $R_{부}$로 이루어져있다.

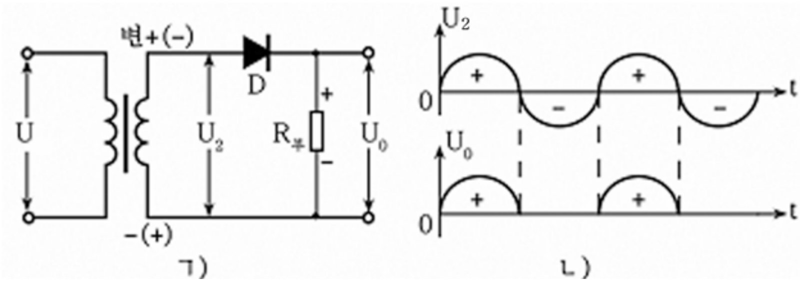



그림 2-3. 반파정류회로(ㄱ)와 정류파형(ㄴ)

회로의 동작원리는 다음과 같다.

변압기2차권선의 웃끝이 〈 + 〉, 아래끝이 〈 - 〉로 되는 교류전압의 반주기동안에는 정류소자 D에 정방향전압이 걸리므로 변압기2차권선의 웃끝(+) → 정 류 소 자 D의 양극→음극→$R_{부}$ → 2차권선의 아래끝(-)으로 전류가 흐른다.

이때 부하저항 $R_{부}$의 웃끝은 〈+〉, 아래끝은 〈-〉로 된다.

다음 반주기동안에는 변압기2차권선의 웃끝이 〈-〉, 아래끝이 〈+〉로 되여 정류소자 D에 역방향전압이 걸리므로 전류가 흐르지 못한다.

이와 같이 교류의 반파에 대해서만 정류작용을 하기때문에 이 회로를 **반파정류회로**라고 부른다.

#### 2) 우결함

반파정류회로는 회로가 간단한것이 우점이다.

결함은 교류전압의 반주기만 정류하므로 변압기의 리용률이 낮으며 정류된 파형가운데 교류성분이 많이 섞이는것이다.

### 2. 전파정류회로

전파정류회로는 교류의 한주기 즉〈+〉반파와 〈-〉반파 모두에 대하여 정류작용을 하는 회로이다.

전파정류회로에는 변압기2차권선의 중성점을 쓴 회로와 전기다리전파정류회로가 있는데 여기서는 흔히 쓰이고있는 전기다리전파정류회로에 대해서만 보자.

1) 회로구성

전기다리전파정류회로는 정류소자 4개를 가지고 그림 2-4과 같이 련결하였다. 이와 같이 4개의 전자요소를 가지고 4개의 변을 이루게 련결한 회로를 **전기다리**라고 부른다.

전기다리의 한 대각점에는 변압기2차권선이 련결되고 다른 대각점에는 부하가 련결된다.

이때 2극소자의 두 음극이 련결된 A점은 〈+〉, 두 양극에 련결된 B점은 〈-〉로 된다.

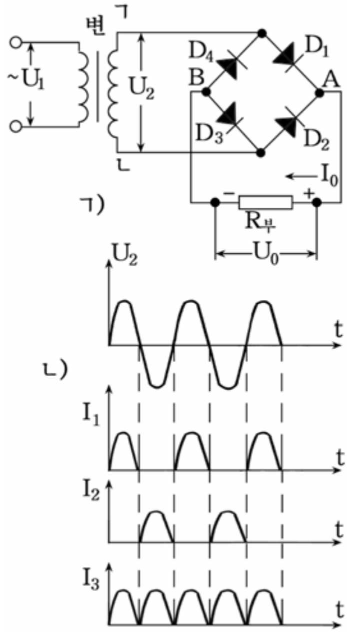



그림 2-4. 단상전기다리형 전파정류회로(ㄱ)와 정류파형(ㄴ)

**2) 동작원리**

변압기2차권선의 웃끝이 〈+〉, 아래끝이〈-〉로 되는 교류의 반주기동안에는 2극소자 $D_1$, $D_3$에 정방향전압이 걸리고 $D_2$, $D_4$에는 역방향전압이 걸린다. 따라서 이때에는 변압기2차권선의 웃끝(+)→$D_1$→$R_부$→$D_3$→변압기2차권선의 아래끝(-)으로 전류가 흐르면서 부하저항 $R_부$의 오른쪽 단자가〈+〉, 왼쪽 단자가 〈-〉로 된다.

교류전압의 다음 반주기에서는 변압기2차권선의 아래끝이 〈+〉, 웃끝이〈-〉로 되므로 이때에는 $D_2$, $D_4$에 정방향전압이 걸리고 $D_1$, $D_3$에는 역방향전압이 걸리게 된다.

따라서 변압기2차권선의 아래끝(+)→$D_2$,→$R_부$→$D_4$→변압기2차권선의 웃끝(-)으로 전류가 흐르면서 $R_부$에 먼저와 같은 극성의 전압이 걸리게 한다.

결과 부하저항($R_부$)에는 교류의 한주기동안 같은 방향의 두개의 전압파형이 작용한다. 이와 같이 교류의 전체 파형에 대하여 정류작용을 하므로 **전파정류회로**라고 부른다.

**3) 우결함**

이 정류회로에서 정류된 직류전압 $U_0$과 변압기2차권선전압 $U_2$사이에는 $U_0=0.9U_2$의 관계가 있다. 즉 반파정류회로에 비하여 2배의

직류전압이 얻어진다.

다음 정류소자에 작용하는 역전압의 최대값은 $U_{역최대}=1.57U_0$으로서 반파정류회로에 비하여 절반으로 작아진다.

따라서 반파정류회로때보다 허용전압이 작은 2극소자를 써도 된다.

이 정류회로의 결함은 반파정류회로에 비하여 반도체2극소자를 많이 쓰며 회로가 복잡한것이다.

**[상식] 정류회로를 발명한 플레밍**

영국의 전기공학자 존 엠브로우크 플레밍(1849-1945)은 에디슨효과(진공관안에서 전자의 흐름)를 연구하는 과정에 가열선조로부터 전자라는 새로운 립자가 튀여나오며 가열선조맞은편에 설치한 극판에 (+)전압을 걸어주었을 때에만 극판이 (-)전자를 끌어당긴다는것을 발견하였다.

이것은 가열선조가 (-)극일 때에만 극판에 전류가 흐르고 그와 반대일 때에는 흐르지 않는다는것을 의미한다.

이처럼 전자관에 교류전압을 걸어주면 직류전압이 나오는셈이다. 이리하여 1904년에 정류회로를 발명하였다.

그는 이것을 전류가 한쪽으로만 흐른다고 해서 변이라고 불렀다.

**참고자료**

### 반도체소형충전기

소형충전기의 회로는 그림 2-5와 같이 축전기 C(1㎌/300V)와 저항기 R(680㏀), 반도체2극소자 $정_1$, $정_2$, $정_3$, $정_4$로 이루어져있다.

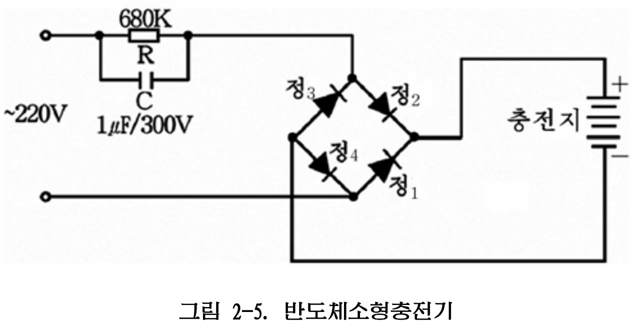



그림 2-5. 반도체소형충전기

전원을 넣으면 220V의 교류전압이 축전기 C와 저항기 R를 통해 반도체2극소자 $정_1$, $정_2$, $정_3$, $정_4$로 이루어진 전기다리형 정류회로에 가해진다.

이때 220V 교류전압은 축전기 C와 저항기 R에 대부분 걸리고 전기다리형 정류회로의 입구에는 낮은 전압이 가해진다.

R와 C에서 낮아진 이 교류전압은 전기다리형 정류회로에서 전파 정류된 다음 출구에 련결된 축전지(또는 충전지)를 충전시킨다.

지금 가정들에서 사용되는 모든 충전지들에는 이 회로가 들어있다.

회로에서 축전기는 무극성축전기이여야 하며 용량이 클수록 충전 전류가 커진다.

**련습문제**

1. 반파정류회로를 써서 12V의 직류전압을 얻으려고 한다. 이때 변압기2차권선의 전압은 얼마로 해야 하며 정류소자로 어떤 소자를 써야 하는가?
2. 전기다리전파정류회로에서 $D_1$과 $D_3$이 끊어졌을 때 이 정류회로가 어떻게 동작하며 부하에 걸리는 직류전압은 어떻게 되겠는가?
3. 반파정류회로와 전파정류회로의 차이점과 우결함을 이야기하여라.
4. 반도체2극소자는 어떻게 정류작용을 하는가?
5. 전기다리형전파정류회로에서 정류과정을 설명하여라.

## 제2절. 평활려파회로

정류회로의 출구전압(또는 전류)은 완전한 직류가 못되고 그 크기가 주기적으로 변하는 전압으로 된다.

이런 전압을 **맥동전압**이라고 한다. 이 맥동전압(전류)은 직류성분과 함께 교류성분을 포함하고있다.

직류를 요구하는 전자장치에 이와 같은 교류성분이 포함된 전압을 공급하면 장치가 오동작하거나 여러가지 잡음이 생겨 동작의 질이 떨어진다.

그러므로 정류전압속에 포함되여있는 교류성분을 없애는 문제가 중요하게 제기된다.

평활려파회로는 정류회로의 출구에 련결되여 정류된 전압(또는 전류)가운데에 들어있는 교류성분을 없애고 시간에 따라 그 크기가 변하지 않는 직류전압을 만드는 역할을 한다.

평활려파회로는 맥동결수와 평활결수에 의하여 그 질이 평가된다.

맥동결수는 정류된 전압가운데 교류성분이 얼마나 포함되여있는가를 나타내는 량으로서 직류성분과 교류성분사이의 비로 표시된다.

$$K_{맥} = \frac{U_{교}}{U_0}$$

단상반파정류회로에서 $K_{맥}=1.57$이며 단상전파정류회로에서는 $K_{맥}=0.67$이다.

평활결수($K_{평}$)는 평활려파회로가 평활려파작용을 얼마만큼 하는가를 나타내는 정수로서 평활려파회로를 거치기 전 맥동결수 $K_{맥,전}$과 평활려파회로를 거친 다음의 맥동결수 $K_{맥,후}$와의 비로써 표시된다.

$$K_{평} = \frac{K_{맥,전}}{K_{맥,후}}$$

$K_{맥,전}$은 단상전파정류회로에서 0.67이며 $K_{맥,후}$는 부하와 평활려파회로의 질에 따라 달라진다. 평활결수는 클수록 좋다.

평활려파회로의 분류

평활려파회로는 <u>평활려파요소로 무엇을 썼는가에 따라</u> 유도평활려파회로, 용량평활려파회로, 반도체3극소자 평활려파회로, 연산증폭기를 쓴 평활려파회로 등으로 나눈다.

평활려파회로는 또한 <u>회로구성형식에 따라</u> 단순한 평활려파회로, ㄱ형평활려파회로, π형평활려파회로 등으로 나눈다.

### 1. 용량평활려파회로

**용량평활려파회로**는 용량이 큰 전해축전기를 쓴 평활려파회로를 말한다.

평활용축전기는 부하에 병렬로 련결한다.(그림 2-6)

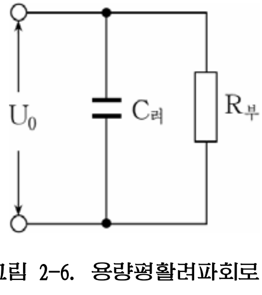


그림 2-6. 용량평활려파회로

용량평활려파회로는 전기회로에서 축

전기의 작용을 리용하고있다.

이미 앞에서 본바와 같이 축전기는 직류를 통과시키지 않고 교류만 통과시키며 전기량을 축적하는 성질을 가지고있다.

정류회로에서 정류된 전류에서 교류성분은 평활축전기 $C_{려}$를 통해 접지로 흐르고 직류분만 부하저항 $R_{부}$로 흐른다.(려파작용)

평활축전기의 용량성저항은 다음과 같다.

$$X_c = \frac{1}{\omega C_{려}} = \frac{1}{2\pi f C_{려}}$$

이 식으로부터 주파수 f가 큰 교류성분일수록 $C_{려}$에서 더 잘 려파하리라는것을 알수 있다.

주파수가 낮은 교류성분에 대해서는 $C_{려}$가 다음과 같이 작용한다.

정류회로의 출구전압이 축전기의 $C_{려}$의 단자전압보다 높을 때에는 충전되고 정류회로의 출구전압이 축전기의 단자전압보다 낮아질 때에는 축전기에 충전하였던 전기에네르기를 부하에 내보낸다.

결과 부하에 걸리는 전압은 평활축전기가 없을 때보다 훨씬 작게 변한다. 즉 평활축전기는 정류전류에 대하여 평활작용을 한다.

평활축전기가 평활작용을 원만하게 하자면 그의 용량성저항이 부하저항보다 훨씬 작아야 한다.

$$X_c = \frac{1}{m\omega C_{려}} << R_{부}$$

여기서 m은 정류회로의 종류에 관계되는 결수로서 반파정류회로에서 m=1이고 전파정류회로에서는 m=2이다.

용량평활려파회로는 자체전력손실이 극히 작은 우점이 있다.

결함은 초기충전전류에 의하여 반도체소자가 파괴될수 있는것이다. 즉 전원을 넣는 순간 용량이 큰 축전기로 충전전류가 흐르면서 소자에 과전류가 흐를수 있다.

### 2. 유도평활려파회로

**유도평활려파**회로는 평활려파요소로 색류선륜을 쓴 평활려파회로로서 색류선륜은 부하와 직렬로 련결된다.(그림 2-7)

선륜은 교류를 잘 통과시키지만 직류는 잘 통과시키지 않는 성질이 있다.

색류선륜으로 흐르는 정류전류의 교류성분은 철심에 교번자속

을 만들며 이 자속은 선륜에 부하전류의 변화를 방해하는 자체유도기전력을 일으킨다. 즉 전류가 커질 때에는 전류가 커지는것을 방해하는 방향으로 자체유도기전력이 생기며 전류가 작아질 때에는 전류가 작아지는것을 방해하는 방향으로 자체유도기전력이 생긴다.

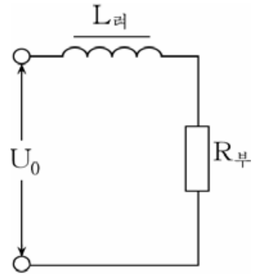


그림 2-7. 유도평활려파회로

색류선륜이 평활작용을 잘하자면 그의 유도성저항 $X_L$이 부하저항보다 훨씬 크도록 해야 한다. 즉 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$X_L = m\omega L \geqq R_{부}$$

L- 색류선륜의 유도도

색류선륜의 유도성저항 $X_L$을 크게 하자면 그의 유도도 L이 커야 한다.

## 3. ㄱ형평활려파회로

**ㄱ형평활려파**회로는 용량이 큰 전해축전기 $C_{려}$와 색류선륜 $L_{려}$ 또는 저항 $R_{려}$가 〈ㄱ〉자모양으로 결합된 평활려파회로이다.(그림 2-8)

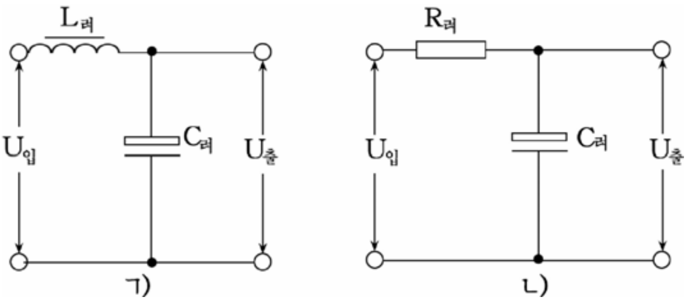


그림 2-8. ㄱ형평활려파회로

이 평활려파회로는 개별적으로 된 평활려파회로들에 비하여 평활작용을 잘한다.

그러면 ㄱ형평활려파회로의 동작원리를 보자.

유도도 $L_{려}$는 직류에 대해서는 저항작용을 하지 않으므로 직류는 거의 그대로 출구에 나오고 교류성분은 저항을 받아 작아진다.

여기서 작아진 교류성분은 축전기 $C_{려}$에 걸린다.

그런데 축전기는 교류를 잘 통과시킨다.

이렇게 되여 $C_{\text{려}}$의 량끝사이에 걸리는 교류전압은 극히 작아진다.

유도도 $L_{\text{려}}$대신 저항 $R_{\text{려}}$를 넣으면 $R_{\text{려}}$에서의 직류전압강하가 생기므로 손실이 있다. 그러나 정류전류가 수십mA정도 되는 작은 정류회로에서는 그것이 그리 큰 문제로 되지 않으므로 정류회로의 질량을 작게 하기 위해 널리 쓰인다.

$L_{\text{려}}$, $C_{\text{려}}$, $R_{\text{려}}$의 값들은 정류회로의 질적요구와 용량에 따라 다르지만 보통 $L_{\text{려}}$=수백mH, $C_{\text{려}}$=50~1 000㎌로 하며 $R_{\text{려}}$의 값은 부하저항에 많이 관계되는데 부하저항의 약 1/4정도로 한다.

소형정류회로에는 회로를 만들기 쉽고 체적과 질량이 작은 RC평활려파회로를 많이 쓴다.

### 4. π형평활려파회로

**π형평활려파**회로는 ㄱ형평활려파회로와 용량평활려파회로를 결합한 평활려파회로이다.

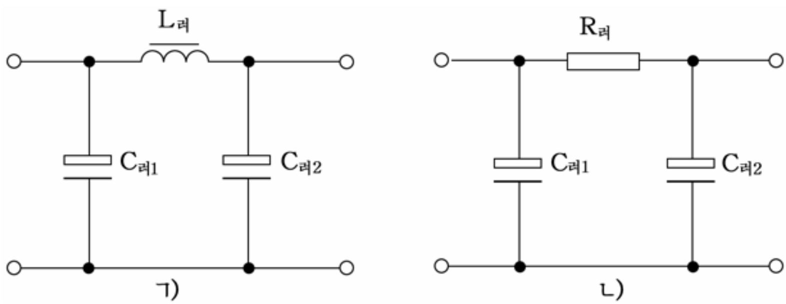



그림 2-9. π형평활려파회로

L과 C 혹은 R와 C가 π자와 같이 련결되였다고 해서 이 평활려파회로를 π형평활려파회로라고 한다.(그림 2-9)

π형평활려파회로의 동작원리는 앞에서 본 ㄱ형평활려파회로에 용량평활려파회로의 동작원리를 합친것과 같다. 여기서 $C_{\text{려}1}=C_{\text{려}2}$로 되게 하는것이 좋다.

**련습문제**

1. 맥동전류란 어떤 전류이며 맥동전류로부터 완전한 직류전류를 얻자면 어떻게 하여야 하는가?
2. 왜 평활려파기를 ㄱ형 또는 π형으로 회로를 구성하는가?

## 제3절. 직류전압안정회로

전자측정기구와 자동조종장치, TV나 콤퓨터를 비롯한 각종 전자장치들은 항상 안정된 직류전원을 공급하여야 정확히 동작하게 된다.

전자장치들에 안정된 직류전압을 공급하는 회로가 직류전압안정회로이다.

직류전압안정회로란 전원전압이 변하거나 부하전류가 변할 때에도 항상 일정한 직류전압을 내는 전자회로를 말한다.

직류전압안정회로에는 정수형직류전압안정회로, 보상형직류전압안정회로, 집적회로연산증폭기를 쓴 직류전압안정회로, 전압안정집적소자를 쓴 직류전압안정회로 등이 있다.

정수형직류전압안정회로는 전압안정2극소자 자체의 역방향전압-전류특성을 그대로 리용한 안정회로이다.

보상형직류전압안정회로는 출구부하전압의 변화량을 기준값과 비교하여 그 차를 얻어내고 그것으로 조종소자를 조종하는 방법으로 안정을 실현하는 직류전압안정회로이다.

높은 질을 보장하는 직류전압안정회로는 모두 보상형으로 되여 있다.

직류전압안정회로의 질을 평가하는 기본정수는 전압안정결수이다.

전압안정결수 $K_{안}$은 다음과 같이 정의된다.

$$K_{안} = \frac{\dfrac{\Delta U_{입}}{U_{입}}}{\dfrac{\Delta U_{출}}{U_{출}}}$$

$\Delta U_{입}$, $\Delta U_{출}$- 안정회로의 입구전압과 출구전압의 변화량

$U_{입}$, $U_{출}$- 안정회로의 입구전압과 출구전압

전압안정결수는 클수록 좋다. 즉 전압안정결수가 커야 입구전압의 변화가 커도 출구전압의 변화는 작다.

## 1. 정수형전압안정회로

### 1) 회로구성

이 회로는 전압안정2극소자의 역방향특성을 리용한 전압안정회로이다.

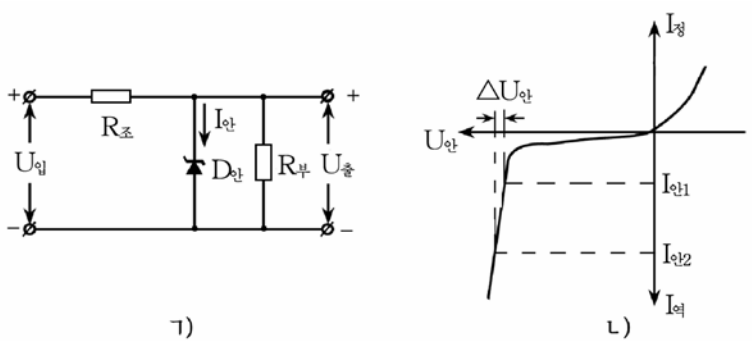



그림 2-10. 정수형전압안정회로(ㄱ)와 전압안정2극소자의 역방향특성(ㄴ)

그림 2-10의 ㄱ)와 같이 전압안정2극소자 $D_{안}$은 역방향전압이 걸리도록 부하저항과 병렬로 련결한다.

조절저항 $R_{조}$는 $D_{안}$과 $R_{부}$에 직렬로 련결하는데 그의 크기는 $D_{안}$에 의하여 결정된다.

이 전압안정회로의 입구는 정류회로의 출구와 련결한다.

### 2) 동작원리

전압안정2극소자의 역방향특성을 보면 어떤 구역에서는 전류가 크게 변하여도 전압은 거의 변하지 않고 그대로 유지되고있다.

그림 2-10의 ㄴ)에서 역방향전류가 $I_{안1}$로부터 $I_{안2}$로 커질 때 역방향전압은 $\triangle U_{안}$만큼밖에 변하지 않았다.

먼저 입구전압($U_{입}$)이 변하는 경우 출구전압이 어떻게 안정되는가를 보자.

회로에서 조절저항 $R_{조}$와 전압안정2극소자 $D_{안}$은 직렬로 련결되여있으므로 $U_{입}=U_{조}+U_{안}$으로 된다. 여기서 $U_{조}$는 $R_{조}$에 생기는 전압강하이므로 $U_{조}=\triangle I_{안}R_{조}$이며 $U_{안}$은 $D_{안}$에 걸리는

전압으로서 출구전압과 같다.

$$U_{출}= U_{입}-\Delta I_{안}\cdot R_{조}$$

이제 입구전압이 △U만큼 높아졌다고 하자.

그러면 입구전류는 $\Delta I_{안}$만큼 증가하여 $R_{조}$와 $D_{안}$으로 흐른다.

그런데 안정소자의 특성으로 하여 $U_{안}$은 달라지지 않고 입구전압의 증가는 $R_{조}$에 $\Delta I_{안}R_{조}$만 한 전압강하의 증가를 가져온다. 즉 입구전압이 커지는것만큼 $R_{조}$에서 전압강하가 커지므로 출구전압은 일정하게 보장된다.

입구전압이 작아지는 경우에는 $R_{조}$에서의 전압강하가 그만큼 작아지면서 출구전압이 일정하게 유지된다.

다음은 부하저항이 달라지는 경우에 출구전압이 어떻게 되는가를 보자.

먼저 부하저항이 커지는 경우 거기로 흐르는 전류는 작아지고 대신 안정소자로 더 많은 역방향전류가 흐른다.

그러나 안정소자의 역방향특성에 의하여 안정소자전압 $U_{안}$은 변하지 않으므로 출구전압 $U_{출}$도 그대로 유지된다.

다음 부하저항이 작아지는 경우는 부하저항 $R_{부}$로 흐르는 전류가 커지고 $D_{안}$으로 흐르는 전류는 작아지지만 안정소자의 역방향특성으로 하여 그의 전압은 변하지 않기때문에 그와 병렬로 련결된 부하저항에 걸리는 전압 즉 출구전압은 그대로 유지된다.

이 안정회로는 회로가 간단한 우점이 있으나 안정전압이 낮고 출력이 제한되여있는 결함이 있다.

## 2. 보상형전압안정회로

보상형전압안정회로에는 직렬형직류전압안정회로와 병렬형직류전압안정회로가 있다.

### 1) 직렬형직류전압안정회로

직렬형직류전압안정회로는 전압조절소자가 부하와 직렬로 련결된 전압안정회로이다.

그림 2-11에 직렬형직류전압안정회로의 회로를 보여주었다.

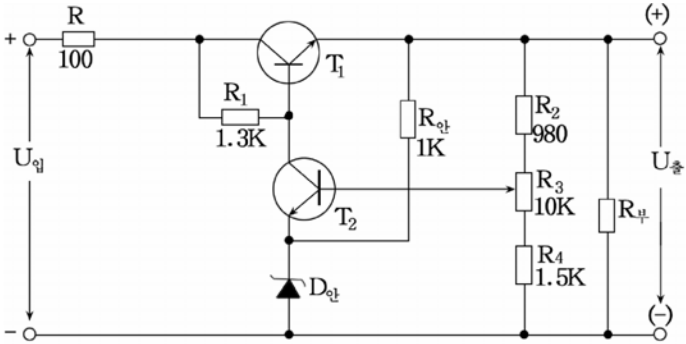



그림 2-11. 직렬형직류전압안정기의 회로

이 안정회로는 마치도 가변저항을 조절해서 출구전압을 조절하는것과 같은 원리에 기초하고있다.

R는 입구전압의 변화분에 따르는 저항이다.

그림에서 $T_1$은 전압조절소자, $T_2$는 오차증폭 및 비교소자, $D_{안}$은 $T_2$에 편의전압을 주기 위한 기준전압설정용안정소자이다.

그리고 $R_1$은 $T_1$의 기초극편의저항이면서 $T_2$의 부하저항이며 $R_2$는 $D_{안}$의 동작상태를 결정해주는 저항이다.

$R_2$, $R_3$, $R_4$는 출구전압분할저항들이다.

회로의 동작원리를 보자.

어떤 원인에 의하여 입구전압 $U_{입}$이 커져서 출구전압이 커졌다고 하자.

그러면 $T_2$의 기초극과 방사극사이의 전압이 높아지고 따라서 그의 수전극전류가 증가하면서 $R_1$에서의 전압강하가 커진다.

결과 $T_1$의 기초극-방사극전압 $U_{기방1}$이 낮아지며 따라서 $T_1$의 기초극전류가 작아진다.

이것은 $T_1$의 내부저항이 커진것과 같으므로 수전극-방사극사이의 전압 $U_{수방1}$이 커진다.

그런데 $U_{출}=U_{입}-U_{수방1}$이므로 결국 $U_{출}$은 정상값으로 작아진다.

입구전압이 작아지는 경우에는 우에서와 반대로 동작하여 출구전압을 안정시킨다.

부하저항이 변하여 부하전류가 변할 때에도 이와 비슷한 원리로 동작하면서 안정한 출구전압을 보장한다.

### 2) 병렬형직류전압안정회로

병렬형직류전압안정회로는 전압조절소자가 부하와 병렬로 련결된 전압안정회로이다.

그림 2-12에 병렬형직류전압안정회로를 보여주었다.

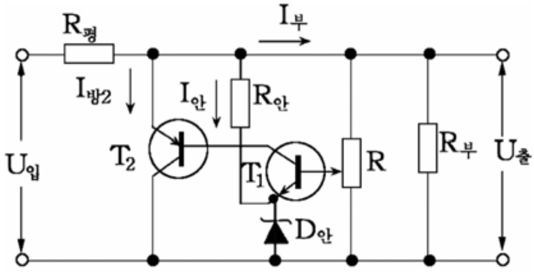



그림 2-12. 병렬형직류전압안정회로

회로에서 $T_1$은 증폭 및 비교소자, $T_2$는 조절소자, $D_{안}$은 기준전압설정을 위한 전압안정소자, $R_{안}$은 $D_{안}$의 동작상태를 결정하기 위한 저항이다.

그리고 R는 가변저항으로서 출구전압의 변화를 최소로 하기 위한 기초극전압조절저항이다.

$R_{평}$은 평형저항 혹은 보조저항으로서 입구전압의 변화분에 해당한 전압강하의 변화분을 만드는 저항이다.

회로의 동작원리를 보자.

이제 입구전압이 커져서 출구전압이 커졌다고 하자. 그러면 $T_1$의 기초극과 방사극사이 전압 $U_{기방2}$이 커지면서 기초극전류 $I_{기2}$이 커지고 따라서 $I_{수2}$이 커진다.

$I_{수1}$이 커지면 $T_2$의 기초극전류 $I_{기2}$가 커지며 따라서 방사극전류 $I_{방2}$도 커진다. $I_{방2}$의 증가는 $R_{평}$에서의 전압강하 $U_{R평}$을 증가시킨다. 따라서 $U_{출}=U_{입}-U_{R평}$은 작아진다.

즉 입구전압이 커졌다고 해도 출구전압은 커지지 않고 일정하게 유지된다. 부하저항이 변하는 경우도 마찬가지이다.

레를 들어 부하저항이 작아졌다고 하자.

부하저항이 작아지면 출구전압 $U_{출}$이 작아진다.

$U_{출}$이 작아지면 $T_1$의 기초극-방사극전압 $U_{기방1}$이 작아지면서 $T_1$의 기초극전류 $I_{기1}$이 작아지며 따라서 수전극전류 $I_{수1}$도 작아진

다. $I_{수1}$이 작아진다는것은 $T_2$의 기초극전류 $I_{기2}$가 작아진다는것을 의미하며 결과 방사극전류 $I_{방2}$도 작아진다.

그런데 $R_{평}$에서의 전압강하는 $U_{R평}= R_{평}(I_{방2}+I_{부}+I_{안})$이므로 $\triangle I_{부}\approx\triangle I_{방2}$로 되게 하면 $U_{R평}$이 작아져 $U_{출}$이 정상값까지 커진다.

이 안정회로는 부하가 맞닿이되여도 조절소자 $T_2$가 파괴되지 않는 우점이 있지만 평형저항 $R_{평}$에서의 직류전압강하로 인하여 손실이 큰것이 결함이다.

**[참고자료]**

### 전압안정집적회로를 쓴 직류전압안정회로

교류를 정류하여 얻은 직류를 다시 안정회로에서 안정화시켜 5V±5%의 안정한 전압을 얻을수 있는 전원을 **정전압원**이라고 부른다.

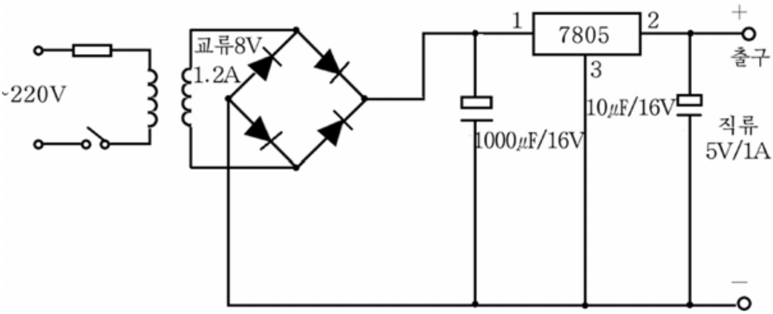



그림 2-13. 전압안정집적소자를 리용한 안정전원회로

여기서 7805는 수자형집적소자 74계렬의 안정전압을 보장할것을 목적으로 만든 전압안정용집적소자로서 입구전압이 7~35V인 때 5V의 직류안정전압을 얻는다.

7805는 78계렬의 안정소자이나 78계렬은 다시 78L계렬과 78M계렬, 78H계렬로 나눈다.

78L계렬은 출구전류가 100~200mA까지, 78M계렬은 500mA~ 1A까지, 78H계렬은 5A까지의 출구전류를 얻을수 있다.

**련습문제**

1. 정수형전압안정회로와 보상형전압안정회로의 차이점은 무엇인가?
2. 직렬형전압안정회로에서 출구전압을 안정시키는 원리를 설명하여라.
3. 직렬형전압안정회로와 병렬형전압안정회로의 근본적인 차이점은 어디에 있는가?

# 제3장. 증폭회로

증폭회로에 대하여 잘 아는것은 증폭회로자체는 물론 전자공학의 다른 회로들을 리해하는데서 기초로 되는 중요한 문제이다.

그러므로 전자공학에 대한 지식을 습득하는데서 증폭회로는 특별히 중요한 의의를 가진다.

## 제1절. 증폭회로의 기초

증폭회로란 작은 전기적신호를 큰 전기적신호로 만드는 회로를 말한다.

### 1. 증폭회로와 그의 분류

증폭회로는 그 종류가 매우 많으므로 여러가지로 분류할수 있는데 그 몇가지만 보면 다음과 같다.

① 어떤 전기적량을 증폭하는가 하는데 따라 전압증폭회로, 전류증폭회로, 전력증폭회로로 나눈다.

② 어떤 주파수의 신호를 증폭하는가에 따라 직류증폭회로, 저주파증폭회로, 고주파증폭회로로 나눈다.

③ 증폭단사이 또는 증폭단과 부하사이의 결합방법에 따라 직접결합증폭회로, 저항-용량결합증폭회로, 변성기결합증폭회로 등으로 나눈다.

### 2. 증폭회로의 전기적정수

증폭회로의 질을 평가하는 전기적정수에는 여러가지 지표들이 있다. 그가운데서 대표적인 정수 몇가지에 대해서만 보면 다음과 같다.

증폭결수란 입구신호에 비하여 출구신호가 몇배나 커졌는가를 표시하는 량으로서 보통 문자 K로 표시한다.

#### 1) 증폭결수

증폭결수에는 전압증폭결수, 전류증폭결수, 전력증폭결수가 있다.

**전압증폭결수(Ku)**는 입구전압에 대한 출구전압의 비이다.

$$K_U = \frac{U_{출}}{U_{입}}$$

**전류증폭곁수($K_I$)**는 입구전류에 대한 출구전류의 비이다.

$$K_I = \frac{I_{출}}{I_{입}}$$

**전력증폭곁수($K_P$)**는 입구전력에 대한 출구전력의 비이다.

$$K_P = \frac{P_{출}}{P_{입}}$$

증폭단이 여러 단인 경우에 총 증폭곁수는 매개 증폭단의 증폭곁수를 곱한 값과 같다.

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \cdots \cdot K_n$$

례를 들어 증폭단이 3개이고 매개 단의 증폭곁수가 10이라면 총 증폭곁수는 $K$=10×10×10=1 000이다.

### 2) 출력(P)과 효률($\eta$)

부하저항 $R_{부}$에서의 유효전력을 증폭기의 출력이라고 한다.

$$P_{출} = I_{출} U_{출} = I_{출}^2 R_{부}$$

증폭기에서 신호가 증폭되는 과정은 증폭기에 공급되는 직류에네르기가 교류(신호)에네르기로 변환되는 과정이다.

이때 증폭기에서 공급되는 직류에네르기가 모두 신호의 증폭에 유효하게 쓰이는것이 아니라 그 일부만 신호에네르기로 되고 나머지는 회로에서 이러저러하게 소비된다.

증폭기에 공급된 직류에네르기의 얼마만한 몫이 신호에네르기로 변환되였는가를 나타내는 량을 증폭기의 효률이라고 하며 보통 문자 $\eta$로 표시한다.

$$\eta = \frac{P_{출}}{P_0}$$

효률 $\eta$는 증폭기에 공급된 직류전력 $P_0$에 대한 증폭기의 출력 $P_{출}$의 비로 표시되며 %로 나타낸다.

3) 이지러짐

신호가 증폭회로에서 증폭되여 출구에 나타날 때 입구와 출구신호의 모양이 꼭같고 진폭만 커지면 리상적인것이다. 그러나 실제로는 이러저러한 요인때문에 출구신호는 입구신호와 모양이 달라진다.

이지러짐이란 출구신호가 입구신호에 비례되지 않고 모양이 변화되는것을 말한다.

이지러짐에는 주파수특성이지러짐과 비선형이지러짐이 있다.

**(1) 주파수특성이지러짐**

증폭회로의 증폭결수는 신호의 주파수에 따라 달라진다.

실례로 어떤 값보다 높은(고위) 주파수에서 증폭결수가 작아지는것을 볼수 있다.

이와 같이 어떤 주파수근방에서 증폭결수가 작아져서 생기는 이지러짐을 **주파수특성이지러짐**이라고 한다.

**(2) 비선형이지러짐**

증폭요소인 반도체3극소자의 전압—전류특성이 완전한 직선이 못되기때문에 신호가 증폭회로를 지날 때 그 모양이 달라지는것을 **비선형이지러짐**이라고 한다.

음성증폭기에서 주파수특성이지러짐은 음질을 나쁘게 하며 비선형이지러짐은 소리를 분간해 들을수 없게 한다. 그러므로 이지러짐이 작아지게 해야 한다.

## 3. 편의회로

**1) 편의회로의 필요성**

기초극과 방사극사이에 걸어주는 직류전압을 편의전압이라고 하며 이 편의전압을 보장하는 회로를 편의회로라고 부른다.

반도체3극소자를 동작시키자면 기초극과 방사극사이에는 정방향전압을 걸어주고 기초극과 수전극사이에는 역방향전압을 걸어주어야 한다.

그러면 증폭기에서 편의회로가 왜 필요한가?

그림 3-1의 ㄱ)와 같은 회로에서 3극소자의 기초극에 편의전압을 주지 않고 신호전압만 걸린다고 하자.

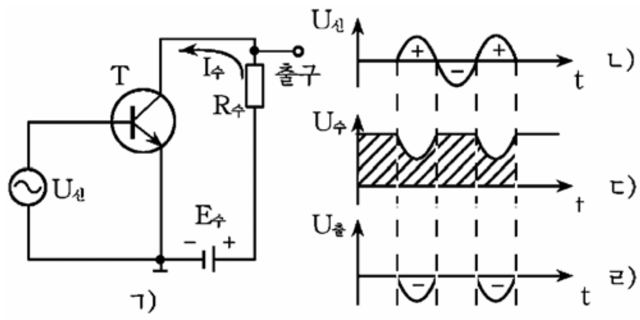



그림 3-1. 편의회로가 없는 증폭회로 (ㄱ)와 입출구파형 (ㄴ, ㄷ, ㄹ)

그러면 신호전압의 〈＋〉반주기동안에는 기초극전위가 방사극전위보다 높아져서 3극소자가 열리고 수전극전류가 흐르게 된다.

신호전압이 〈－〉로 되는 다음 반주기동안에는 기초극전위가 방사극전위보다 낮아져(기초극과 방사극사이에 역방향전압이 걸리여) 3극소자는 닫기며 수전극전류가 흐르지 못한다.

수전극전류가 흐를 때에는 부하저항 $R_{수}$의 전압강하에 의하여 수전극전압이 낮아지고 수전극전류가 흐르지 못하는 동안은 수전극전압이 전원전압 $E_{수}$와 같아진다.

결과 수전극전압의 모양은 그림 3-1의 ㄷ)와 같아지고 출구신호의 모양은 그림 3-1의 ㄹ)와 같아진다.

결국 입구신호와 출구신호의 모양이 달라졌다. 즉 신호의 이지러짐이 생겼다.

신호가 이지러지게 된 기본원인은 입구신호의 반주기동안에 수전극전류가 흐르지 못했기때문이다.

이지러짐이 없는 출구신호를 얻으려면 입구신호의 〈-〉반주기동안에도 수전극전류가 흐르게 해야 한다.

그러자면 3극소자의 기초극과 방사극사이에 일정한 크기의 직류전압 즉 편의전압을 항상 걸어주어야 한다.

편의전압이 걸린 상태에서 신호전압이 함께 걸리면 신호의 이지러짐이 생기지 않는다는것을 그림 3-2를 통하여 보자.

그림 3-2의 ㄱ)에서 $E_기$가 기초극에 편의전압을 보장하는 전원이다.

입구에 신호가 들어오지 않고 편의전압만 걸리는 경우(0~$t_1$기간) 3극소자가 열리고 수전극전류가 $+E_수$→$R_수$→수전극→방사극→$-E_수$의 회로를 따라 흐르면서 $R_수$에 전압강하를 만드는데 이 전류는 직류이다.

다음 입구에 신호의 〈+〉반주기가 걸리는 동안($t_1$～$t_2$기간)에는 편의전압과 신호전압이 합쳐져서 기초극전압이 높아지고 수전극전류가 커지며 따라서 수전극부하저항 $R_수$에서의 전압강하도 커진다.(그림 3-2의 ㄷ)

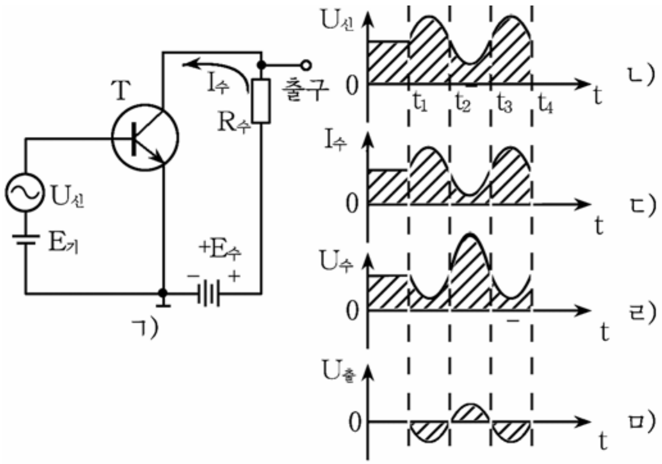



그림 3-2. 편의전압이 걸리는 경우

수전극전압은 전원전압 $E_수$에서 $R_수$에서의 전압강하를 던것과 같다. 즉

$$U_{수방}=E_수-I_수R_수$$

따라서 입구신호의 〈+〉반주기동안 수전극전압은 낮아진다.(그림 3-2의 ㄹ)

다음 입구신호의 〈－〉반주기동안($t_2$～$t_3$기간)에는 기초극전압이 낮아지고 수전극전류는 작아지며 따라서 $R_수$에서의 전압강하도 작아진다. 결과 수전극전압은 높아진다.

이상에서 보는것처럼 3극소자에 편의전압을 걸어주면 출구(수전극)에서 입구(기초극)신호와 모양은 같고 극성이 반대인 신호를 얻을수 있다.

반도체3극소자편의회로에는 크게 고정편의회로와 안정한 편의회로가 있다.

### 2) 고정편의회로

고정편의회로는 3극소자의 동작상태에 관계없이 항상 고정된 편의전압을 보장하는 편의회로이다.

3극소자의 기초극에 편의전류가 흐르게 하자면 그림 3-2와 같이 기초극과 방사극사이에 따로 독립적인 전원을 설치할수도 있으나 이 방법은 두개의 독립적인 전원이 있어야 하므로 불편하다. 그러므로 실제로는 수전극전원 $E_수$의 일부를 리용하는 방법을 쓴다.

이러한 방법에는 다음과 같은 두가지가 있다.

#### (1) 전류고정편의회로

이 편의회로는 그림 3-3과 같이 수전극전원 $E_수$로부터 기초극편의저항 $R_기$를 통하여 기초극에 편의전압을 보장한다.

이 회로에서 편의전압 $U_{기방}$은 수전극전원전압 $E_수$에서 $R_기$에서의 전압강하를 던 값과 같다. 즉

$$U_{기방}=E_수-I_기R_기$$

이와 같이 $R_기$를 련결함으로써 마치도 $E_기=E_수-I_기R_기$인 기초극전원 $E_기$를 련결한것과 같은 효과를 얻는다.

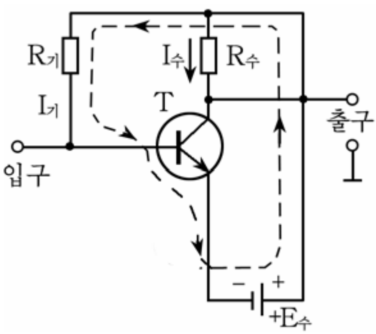


그림 3-3. 전류고정편의회로

입구에 신호가 들어오지 않을 때에도 기초극편의전류 $I_기$는 그림에서 점선으로 표시한 길을 따라 흐른다.

입구에 신호가 들어올 때에는 기초극편의전류 $I_기$와 입구신호전류 $I_신$이 합쳐진 전류가 기초극으로 흐른다.

이 편의회로에서는 기초극편의전류에 의하여 편의전압이 얻어지게 되므로 **전류고정편의회로**로 불리운다.

#### (2) 전압고정편의회로

이 편의회로는 수전극전원 $E_수$를 분할저항으로 전압분할하여 편의전압으로 리용하는 **고정편의회로**이다.(그림 3-4)

그림에서 $R_1$과 $R_2$가 전압분할저항들이다.

편의전압은 다음식으로 결정된다.

$$U_{기방} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_수$$

이상에서 본 고정편의회로들은 회로가 간단하고 직류손실이 작은 우점이 있으나 온도가 변할 때 그에 따라 수전극전류가 변하는것을 막지 못하는 결함이 있다.

그러므로 질이 크게 문제로 제기되지 않는 증폭회로에서 쓰인다.

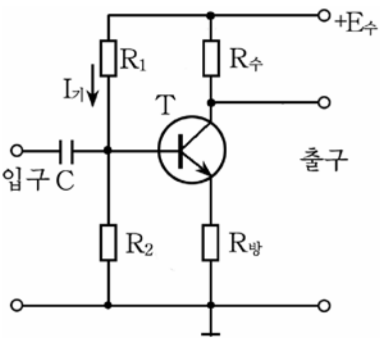


그림 3-4. 전압고정편의회로

### 3) 안정한 편의회로

반도체3극소자에서는 온도가 높아지면 전류나르개의 수가 많아져 수전극전류가 증가하며 수전극전류가 증가하면 소자의 온도가 더 높아지게 된다.

결과 3극소자가 제대로 동작하지 못하게 되면 심한 경우에는 3극소자가 파괴될수 있다.

그러므로 온도가 높아져도 수전극전류가 일정하게 유지되도록 편의전압을 자동적으로 조절하는 편의회로를 쓰게 된다. 이런 편의회로를 **안정한 편의회로**라고 부른다.

안정한 편의회로는 수전극안정회로와 방사극안정회로의 두가지 형식이 있다.

#### (1) 수전극안정회로

이 회로는 3극소자의 수전극에 $R_기$를 련결하여 편의전압을 보장하고있다.(그림 3-5)

이 회로의 동작과정을 보자.

온도가 높아져서 수전극전류가 증가하면 부하저항 $R_수$에서의 전압강하 $I_수R_수$가 커지고 수전극전압은 낮아진다.

수전극전압이 낮아지면 $I_기$가 작아지고 따라서 $I_수$도 작아진다. 이렇게 온도가 높아져서 수전극전류가 증가하려고 하면 기초극전류가 작아지도록 자동적으로 조절되여 수전극전류의 증가를 막는다.

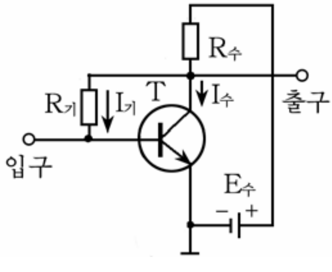


그림 3-5. 수전극안정회로

**(2) 방사극안정회로**

이 회로는 그림 3-6과 같이 3극소자의 방사극에 저항 $R_방$을 련결하여 편의전압이 자동적으로 조절되도록 한 편의회로이다.

그림에서 $R_방$은 온도안정화저항이고 $C_방$은 방사극에 흐르는 전류의 교류성분을 통과시키기 위한 축전기인데 이 축전기를 **측로축전기**라고 부른다.

이 회로에서 기초극편의전압 $U_{기방}$은

$$U_{기방}=I_1R_2-I_방R_방$$
$$I_방=I_기+I_수$$

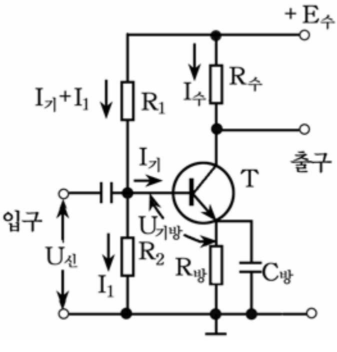


그림 3-6. 방사극안정회로

온도가 높아져서 $I_수$가 증가하면 $R_방$으로 흐르는 전류 $I_방$도 증가하며 따라서 $R_방$에서의 전압강하 $I_방R_방$이 커진다.

결과 기초극편의전압 $U_{기방}$이 작아지므로 기초극전류도 작아지고 그에 따라 수전극전류도 작아진다.

이처럼 온도에 따라 수전극전류가 변하는것을 막도록 편의전압을 자동적으로 조절한다.

안정한 편의회로는 주위온도가 변해도 안정한 증폭을 실현할수 있는 우점이 있으므로 저주파증폭기들에서 널리 쓰인다.

이 회로의 결함은 회로가 좀 복잡하고 직류전력손실이 있는것이다.

## 4. 증폭원리

여기서는 증폭회로에서 입구신호가 어떻게 증폭되여 출구에 나타나는가를 보기로 하자.(그림 3-7)

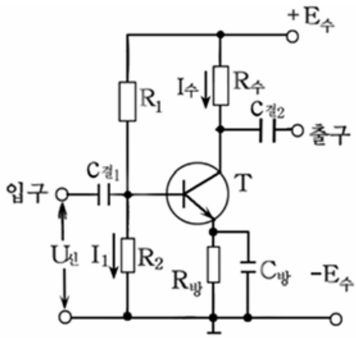


그림 3-7. 증폭회로

이 증폭회로에서 $R_1$, $R_2$, $R_{방}$, $C_{방}$은 편의회로요소들이고 $R_{수}$는 수전극부하저항이다.

그리고 $C_{결1}$과 $C_{결2}$은 결합축전기, $U_{신}$은 입구신호원이다.

3극소자의 기초극에는 신호원의 전압 $U_{신}$, 편의전압 $U_{기방}$이 합쳐진 전압에 의하여 기초극전류가 흐른다.

그러면 수전극으로는 $+E_{수}$→$R_{수}$→T의 수전극→방사극→$R_{방}$→접지→전원의〈－〉극의 회로를 따라 수전극전류가 흐르는데 이 전류는 기초극전류에 비해 3극소자의 전류증폭결수 $\beta$배만큼 크다. 즉 증폭회로에서 신호전류가 증폭되였다.

다음은 입구신호전압이 어떻게 증폭되여 출구에 나타나는가를 보자.

수전극전류가 부하저항 $R_{수}$로 흐르면 거기에서 전압강하 $I_{수}R_{수}$가 생기는데 그의 크기는 $I_{수}$에 따라 변한다. 결과 수전극전압(출구전압)도 $I_{수}$에 따라 변한다.

그런데 $I_{수}$는 입구신호전류 $I_{신}$에 비해 $\beta$배 크게 변하므로 출구전압도 입구신호전압의 변화에 비해 훨씬 크게 변한다. 즉 신호전압이 크게 증폭되여 출구에 나타난다.

이 회로에서 $C_{결1}$과 $C_{결2}$은 직류성분은 차단하고 교류(신호)성분만 통과시키는 역할을 한다.

### 련습문제

1. 그림 3-4와 같은 회로에서 $R_1$=80kΩ, $R_2$=15kΩ이고 $E_{수}$=6V일 때 기초극편의전압은 얼마인가?
2. 그림 3-6에 보여준 회로에서 $R_{방}$은 거기에 떨어지는 전압이 전원전압의 약 10~20%정도 되게 정한다. 전원전압이 6V이고 $I_{방}$=1㎃일 때 $R_{방}$은 얼마인가?

## 제2절. 저항-용량결합증폭회로

### 1. 회로구성

증폭회로 한단으로 필요한 증폭도를 보장할수 없을 때에는 증폭단수를 늘인다. 이때 증폭단사이를 저항과 용량에 의하여 결합한 증폭회로를 저항-용량결합증폭회로라고 부른다.(그림 3-8)

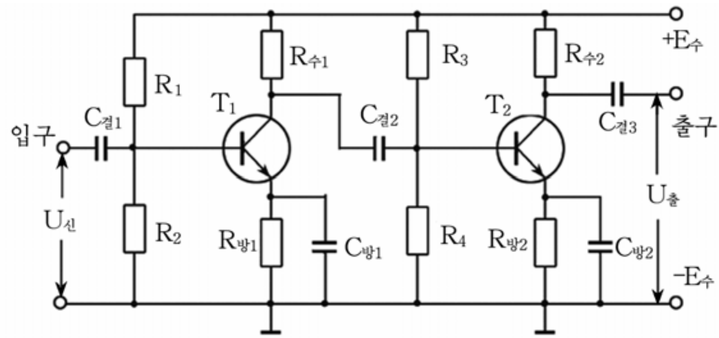



그림 3-8. 저항-용량결합증폭회로

그림 3-8에서 보면 3극소자 $T_1$로 된 증폭단과 $T_2$로 된 증폭단은 저항과 용량에 의하여 결합되였다. 즉 앞단3극소자 $T_1$의 수전극에 부하저항 $R_{수1}$을 련결하고 $R_{수1}$과 $T_1$의 수전극이 련결된 쪽에 결합축전기 $C_{결2}$를 이어서 다음단 3극소자 $T_2$의 기초극에 신호세력을 넘겨주도록 되여있다.

저항-용량결합증폭회로는 회로가 간단하고 특성이 좋으며 믿음성이 높은것 등의 우점이 있다. 때문에 여러단으로 구성한 증폭기들에서 예비증폭단으로 널리 리용되고있다.

예비증폭회로란 증폭기의 출력증폭단에서 요구하는 크기로 신호를 증폭하는 회로로서 증폭기의 앞부분에 배치된다고 하여 일명 앞단(전치)증폭기라고도 부른다.

### 2. 저항-용량결합증폭회로의 동작원리

#### 1) 회로요소들의 역할

회로의 맨 앞부분에 있는 $U_{신}$은 신호원이다.

증폭기의 신호원으로는 마이크, 록음자두, 각종 변환기가 될수

있다. 또한 증폭기가 여러단으로 된 경우 앞단증폭기의 출구전압이 다음단의 입구신호전압으로 된다.

신호전압은 수~수십㎷정도로서 일반적으로 대단히 작다.

$R_1$과 $R_2$, $R_3$과 $R_4$는 편의저항들이다.

이 저항들에 의하여 3극소자 $T_1$과 $T_2$의 기초극에 편의전류가 흐르게 된다.

$R_{방1}$과 $C_{방1}$, $R_{방2}$와 $C_{방2}$는 온도안정화요소들이다.

$R_{수1}$, $R_{수2}$는 수전극부하저항들이다. 이 저항들의 두 끝사이에서 출구전압(증폭된 전압)을 얻어낸다.

$C_{결1}$, $C_{결2}$, $C_{결3}$은 결합축전기들로서 앞단에서의 출구신호전압을 다음 단의 입구에 넘겨주며 앞단의 직류전압이 다음단의 3극소자 기초극에 작용하지 않도록 하는 역할을 한다.

**2) 동작원리**

증폭회로에 직류전원이 어떻게 련결되는가를 보자.

두 증폭소자 $T_1$, $T_2$는 다 npn형3극소자이므로 수전극에 〈+〉, 방사극에 〈-〉전압이 걸려야 한다.

그러므로 $T_1$과 $T_2$의 수전극은 직류전원 $E_수$의 〈+〉단자에 련결되고 방사극들은 $E_수$의 〈-〉단자에 련결된다.

기초극에 편의전압을 보장하기 위하여 $T_1$에는 저항 $R_1$과 $R_2$, $T_2$에서는 저항 $R_3$과 $R_4$를 통하여 수전극직류전원 $E_수$의 일부를 리용할수 있도록 되여있다.

① 회로에 직류전압만 걸리는 경우

직류전압이 공급되면 그에 의하여 기초극편의전압과 수전극전압이 걸리게 된다.

기초극편의전압에 의하여 기초극에는 편의전류가 다음과 같이 흐른다.

$E_수$의 〈+〉극→$R_1$→$T_1$의 기초극→방사극→$E_수$의 〈-〉극

$E_수$의 〈+〉극→$R_3$→$T_2$의 기초극→방사극→$E_수$의 〈-〉극

3극소자의 기초극에 전류가 흐르면 3극소자가 열리여 수전극전류가 흐르게 된다.

수전극전류는 다음과 같은 회로를 따라 흐른다.

② 회로에 직류전압과 교류신호전압이 함께 걸리는 경우

신호원으로부터 신호

$$E_{수}\text{의 〈+〉극} \begin{cases} \nearrow R_{수1} \to T_1\text{의 수전극} \to \text{방사극} \to R_{방1} \searrow \\ \searrow R_{수2} \to T_2\text{의 수전극} \to \text{방사극} \to R_{방2} \nearrow \end{cases} E_{수}\text{의 〈−〉극}$$

전압 $U_{신}$이 첫단 3극소자 $T_1$의 기초극에 가해지면 기초극에 신호전류가 다음과 같은 회로를 따라 흐른다.

$$U_{수} \to C_{결1} \to T_1\text{의 기초극} \to \text{방사극} \to C_{방1} \to \text{접지}$$

기초극에 신호전류가 흐르면 그것이 3극소자에서 증폭되여 수전극회로에는 큰 신호전류가 흐르게 된다.

수전극에서 신호전류는 다음과 같은 회로를 따라 흐른다.

$$+E_{수} \to R_{수1} \to T_1\text{의 수전극} \to \text{방사극} \to C_{방1} \to \text{접지} \to -E_{수}$$

수전극부하저항 $R_{수1}$에는 이 신호전류에 의하여 큰 신호전압이 생기게 된다.

이 신호전압은 결합축전기 $C_{결2}$를 통하여 다음단의 3극소자 $T_2$의 기초극에 작용하게 된다.

그러면 첫단에서와 같은 원리로 $T_2$에서 다시 증폭되여 $R_{수2}$과 련결된 $T_2$의수전극에는 $R_{수1}$과 련결된 $T_1$의 수전극에서보다 훨씬 더 큰 신호전압이 얻어진다.

**련습문제**

1. 그림 3-8에서 $R_2$와 $R_4$는 $R_1$과 $R_3$보다 작아야 한다. 왜 그런가?
2. 그림 3-8에서 결합축전기 $C_{결}$의 용량이 5㎌이다. 신호주파수가 1 000㎐일 때 $C_{결}$에서의 교류저항은 얼마인가?
3. 그림 3-8에서 수전극부하저항 $R_{수}$의 값이 지내 크거나 작으면 증폭결수가 작아진다. 그 리유는 무엇인가.?

# 제3절. 부귀환증폭회로

## 1. 증폭기에서 부귀환을 실시하는 리유

그것은 부귀환을 하면 증폭기의 특성이 훨씬 좋아지기때문이다.

전자회로에서 출구신호세력의 일부를 입구에 되돌려보내는 것을 귀환이라고 부르며 이런 귀환이 이루어지도록 하는 회로를 귀환회로라고 부른다. 그리고 귀환회로를 통하여 입구에 되돌아오는 신호와 본래신호의 위상이 같으면 정귀환, 반대이면 부귀환이라고 한다.

증폭기에서는 보통 부귀환을 실시한다.

부귀환을 실시한 증폭회로를 부귀환증폭회로라고 한다.

그러면 증폭기에서 왜 부귀환을 실시하는가?

부귀환을 실시하면 신호의 이지러짐과 잡음이 훨씬 작아진다. 이밖에도 여러가지 좋은 점들이 있으므로 질이 높은 증폭기들에서는 보통 부귀환을 실시한다.

부귀환을 하면 증폭기의 증폭결수가 부귀환을 하지 않았을 때보다 작아지는 결함도 있다. 그러나 결함보다 우점이 더 많기때문에 부귀환을 널리 리용한다.

## 2. 부귀환증폭회로의 동작원리

부귀환회로에는 전류부귀환회로와 전압부귀환회로가 있다.

### 1) 전류부귀환증폭회로

그림 3-9에 전류부귀환증폭회로를 보여주었다.

이 회로는 그림 3-8의 회로에서 방사극에 련결된 축전기 $C_{방}$이 없는 것과 같다.

방사극저항 $R_{방}$에서 신호전류(방사극전류의 교류성분)에 의한 전압강하를 귀환전압으로 하는 부귀환을 **전류부귀환**이라고 부른다.

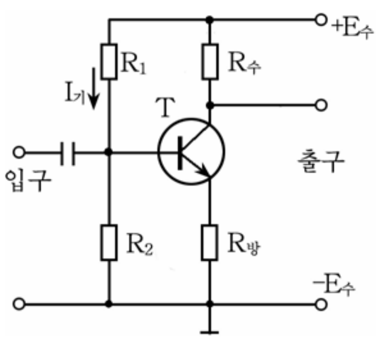


그림 3-9. 전류부귀환증폭회로

전류부귀환이라고 부르는것은 귀환전압이 부귀환전류에 비례하기때문이다.

그러면 이 회로에서 전류부귀환이 어떻게 실현되는가를 보자.

입구에 교류신호전압이 작용하면

$+E_{수} \to R_{수} \to T$의 수전극$\to$방사극$\to R_{방} \to$접지$\to -E_{수}$

로 흐르는 수전극전류가 신호전압에 따라 변하게 되고 전압 $U_{기방}$에 의하여 흐르는데 이 회로에서 $U_{기방}$은 기초극과 접지사이에 작용하는 입구신호전압 $U_{신}$에서 방사극저항 $R_{방}$에서의 전압강하 $I_{방}R_{방}$을 던것과 같다. 즉

$$U_{기방}=U_{신}-I_{방}R_{방}$$

입구신호세력이 커지면 $I_{방}R_{방}$도 커지고 입구신호세력이 작아지면 $I_{방}R_{방}$도 작아진다. 결과 $U_{기방}$은 적게 변화된다.

그러나 방사극에 축전기 $C_{방}$이 있는 경우에는 사정이 다르다. 이때에는 방사극전류의 교류성분이 모두 $C_{방}$으로 흐르므로 $R_{방}$에서 신호에 의한 전압강하는 거의 없다.

따라서 이때는 $U_{기방}$이 전적으로 $U_{신}$에 따라 변하게 된다.

이 회로에서 $I_{방}R_{방}$이 귀환전압으로 된다.

이 귀환전압이 출구전압의 얼마만한 몫에 해당하는가를 표시하기 위하여 귀환결수라는 량을 도입한다.

귀환결수 $\beta_{귀}$은 다음과 같다.

$$\beta_{귀}=\frac{U_{귀}}{U_{출}}=\frac{I_{방}\cdot R_{방}}{I_{수}\cdot R_{수}}\approx\frac{R_{방}}{R_{수}}$$

실례로 $R_{수}=10k\Omega$, $R_{방}=0.1k\Omega$이라면 $\beta_{귀}=0.01$이다. 즉 출구전압의 1%가 부귀환된다는것을 말해준다.

### 2) 전압부귀환증폭회로

이 회로는 출구전압에 비례하는 전압을 입구에 되돌려보내는 부귀환회로이다.(그림 3-10)

회로에서 $C_{귀}$, $R_{귀}$가 귀환요소이다. $C_{귀}$가 있으므로 교류신호만 귀환된다.

입구에 신호전압의 〈+〉반주기가 걸리는 경우에 수전극에는 〈−〉극성의 증폭된 전압이 나타난다.

이 전압이 $C_{귀}$, $R_{귀}$를 통하여 기초극에 작용하게 된다. 따라서 입구신호와 귀환신호는 위상이 반대로 되므로 부귀환결합이 실현된다.

입구에 〈－〉반주기의 신호전압이 걸리는 경우는 앞에서와는 반대로 귀환전압이 〈＋〉로 된다.

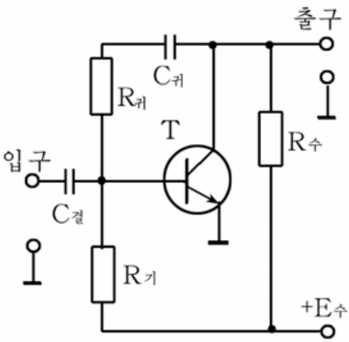



그림 3-10. 전압부귀환회로

귀환되는 세력의 크기는 귀환요소 $C_{귀}$, $R_{귀}$의 값에 관계된다.

$C_{귀}$의 용량을 크게 하거나 $R_{귀}$의 값을 작게 할수록 귀환전압이 커지고 반대로 $C_{귀}$의 용량을 작게 하거나 $R_{귀}$의 값을 크게 할수록 귀환전압이 작아진다.

## 3. 부귀환증폭회로의 증폭결수

부귀환증폭회로의 증폭결수는 다음 식으로 표시된다.

$$K_{귀}=\frac{K}{1+K\beta_{귀}}$$

여기서 K는 귀환이 없을 때의 증폭결수이고 $\beta_{귀}$은 귀환결수이다.

식에서 보는바와 같이 부귀환을 실시하면 부귀환을 하지 않았을 때보다 증폭결수가 $1/(1+K\beta_{귀})$배 작아진다.

그대신 부하저항이나 전원전압이 변하거나 3극소자를 바꿀 때 증폭결수의 변화가 적어지게 된다.

이 관계를 실례를 들어서 보기로 하자.

부귀환이 없을 때의 증폭결수 K=100인 증폭회로에 $\beta_{귀}$=0.1인 부귀환회로를 련결하면 증폭결수는

$$K_{귀}=\frac{K}{1+K\beta_{귀}}=\frac{100}{1+100\times0.1}\approx9.1$$

어떤 원인으로 K가 100으로부터 10% 작아져서 90으로 되였다고 하면 이때

$$K_{귀}=\frac{90}{1+90\times0.1}=9$$

즉 부귀환을 실시하지 않았을 때에는 증폭기의 증폭결수가 10%

변하였으나 부귀환을 하면 증폭결수가 1%밖에 변하지 않았다.

부귀환은 여러단으로 된 증폭회로에서도 적용할수 있다.

**련습문제**

1. 그림 3-9에서 $R_{수}$=10㏀, $R_{방}$=100Ω일 때 귀환결수 $\beta_{귀}$는 얼마인가?
2. K=80, $\beta_{귀}$=0.01이라고 할 때 $K_{귀}$는 얼마인가?

## 제4절. 전력증폭회로

보통 전력증폭회로는 증폭기의 마지막단을 이루며 증폭기의 부하를 동작시키는데 필요한 출력을 얻는다.

반도체3극소자증폭회로는 본질에 있어서 모두 전력증폭을 하지만 작은 신호를 증폭하는 회로는 흔히 예비증폭회로, 큰 신호를 증폭하는 회로는 전력증폭회로라고 부른다.

전력증폭회로는 회로구성방식에 따라 비대칭전력증폭회로와 대칭전력증폭회로로 나눈다.

### 1. 비대칭전력증폭회로

비대칭전력증폭회로는 그림 3-11에 보여준것과 같이 한개의 3극소자로 증폭회로를 구성하고있다.

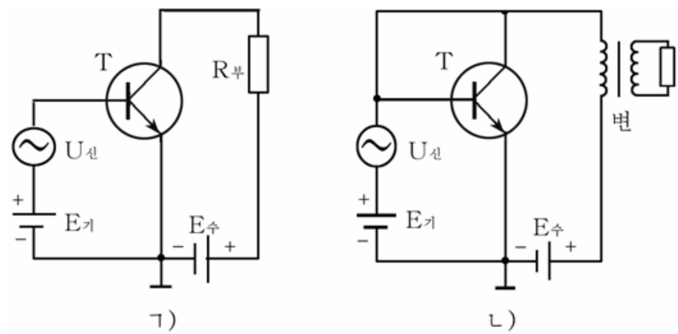



**그림 3-11. 비대칭전력증폭회로**

그림에서 회로 ㄱ)는 $R_{부}$를 증폭회로의 출구에 련결한것이고 회로 ㄴ)는 변성기를 통하여 간접적으로 $R_{부}$를 련결한것이다.

그림에서 $E_{기}$는 3극소자에 편의전압을 보장하기 위한 전원을 표시한것인데 실제회로에서는 $E_{기}$를 따로 넣지 않고 편의회로를

통해 수전극전원 $E_수$의 일부를 따내서 쓴다.

그림의 ㄱ)와 같이 부하 $R_부$를 증폭기의 출구회로에 직접 련결하면 회로가 간단해지는 우점이 있는 반면에 다음과 같은 결함을 가지게 된다.

우선 부하로 항상 직류전류가 흐르므로 직류에네르기손실이 크다. 따라서 증폭기의 효률이 낮아진다.

다음으로 회로에서 최대출력조건이 잘 보장되지 않는다.

증폭회로에서 부하에 출력을 최대로 전달하자면 회로의 출구저항과 부하저항이 꼭 같아야 한다. 즉 정합시켜야 한다. 그런데 일반적으로 증폭회로의 출구저항과 부하저항은 같지 않다.

실례로 부하로 고성기를 쓰는 경우 고성기의 저항은 4~6Ω정도이고 3극소자의 출구저항은 수십㏀ 또는 그 이상으로 크다.

그러므로 고성기를 직접 증폭회로의 출구에 련결하면 최대의 출력을 낼수 없다.

그림 3-11의 ㄴ)와 같이 변성기를 통하여 출구회로에 부하저항 $R_부$를 련결하면 앞에서와 같은 결함들이 극복될수 있다.

변성기권선의 유효저항은 아주 작으므로 직류손실이 문제시되지 않는다.

또한 변성기의 1차와 2차권선사이의 권회수비 $n=\omega_1/\omega_2$를 적당히 하면 증폭기의 출구와 부하를 정합시킬수 있다. 여기서 권회수비 n을 변성기의 변성비라고 부른다.

증폭회로의 출구저항을 $R_출$, 부하저항을 $R_부$라고 할 때 정합을 보장하기 위한 변성비 n은 다음과 같이 표시된다.

$$n=\sqrt{\frac{R_출}{R_부}}$$

례를 들어 출구저항이 10㏀이고 부하(고성기)의 저항이 4Ω이라고 하면 변성비 n은

$$n=\frac{\omega_1}{\omega_2}=\sqrt{\frac{R_출}{R_부}}=\sqrt{\frac{10000}{4}}$$

즉 1차권선은 2차권선의 50배 되게 감아야 한다. 이때 증폭회로에서 부하로 최대출력을 넘겨줄수 있다.

다음은 이 회로의 동작과정을 살펴보자.

기초극에 편의전압을 적당히 주고 큰 입구신호를 넣어주면 전력증폭이 진행된다.

입구신호의 〈+〉반주기동안에는 수전극전류가 커지고 〈－〉반주기동안에는 수전극전류가 작아진다. 즉 입구신호전압에 따라 수전극전류가 변한다. 수전극전류는 수전극전원 $E_수$로부터 변성기1차권선을 거쳐 3극소자의 수전극→방사극→$-E_수$로 흐른다.

변성기의 1차권선으로 입구신호에 따라 변하는 전류가 흐르면 2차권선에 신호기전력이 유기되고 이에 의하여 부하저항 $R_부$로는 $i_부=ni_수$의 큰 신호전류가 흐르게 된다.

비대칭전력증폭회로는 효률이 낮으나 질이 좋으므로 출력이 작은 증폭기들에서 널리 쓰이고있다.

## 2. 대칭전력증폭회로

두개의 출력3극소자를 대칭으로 련결하여 높은 효률을 가지고 큰 전력증폭을 실현하도록 한 회로를 대칭전력증폭회로라고 부른다.

대칭전력증폭회로에도 출력변성기를 쓰는것과 쓰지 않은 두가지 회로방식이 있는데 여기서는 출력변성기가 없는 회로에 대해서만 보기로 한다.(그림 3-12)

이 회로에서 3극소자 $T_1$과 $T_2$는 특성이 같고 극성만 다르다. 저항 $R_1$, $R_2$, $R_3$, $R_4$는 $T_1$과 $T_2$에 편의전압을 보장하기 위한 요소들이다.

회로의 동작과정을 보자.

입구에 〈+〉반주기의 신호가 들어오는 경우에 $T_1$은 열리고 $T_2$는 닫긴다.($T_2$는 pnp형3극소자이므로)

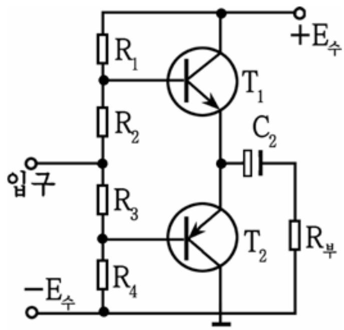


그림 3-12. 대칭출력증폭회로

이때 부하저항 $R_부$로는 다음과 같은 회로를 따라 전류가 흐른다.

$+E_수$→$T_1$의 수전극→방사극→$C_2$→$R_부$→접지→$-E_수$

이때 축전기 $C_2$는 그림에서 왼쪽극판이 〈+〉, 오른쪽극판이 〈－〉로 충전된다. 축전기 $C_2$에 충전되는 전압은 거의 $E_수$와 같다. 이 전압은 $T_2$의 방사극전압으로 된다.

다음 〈－〉반주기의 입구신호가 들어오는 동안은 앞에서와 반대로 $T_2$가 열리고 $T_1$은 닫긴다. $T_2$가 열리면 $C_2$는 다음과 같은 회로를 따라 방전한다.

$C_2$의 왼쪽극판 (＋)→$T_2$의 방사극→수전극→접지→$R_부$→$C_2$의 오른쪽극판(－)

이와 같이 $R_부$로는 입구신호의 〈＋〉반주기와 〈－〉반주기에 대하여 방향이 반대인 교류전류가 흐른다. 즉 두 3극소자에 의하여 증폭된 신호전류가 $R_부$로 흐르게 된다.

이런 회로를 **상보대칭출력회로**라고 부른다.

**련습문제**

1. 출구변성기가 있는 비대칭전력증폭기에서 출구저항이 10㏀이고 부하저항이 16Ω일 때 변성비를 얼마로 해야 부하에서 최대출력을 얻겠는가?
2. 대칭전력증폭회로에서 $C_2$은 어떤 역할을 하는가?

**[참고자료]**

### 연산증폭기

연산증폭기란 큰 증폭결수와 깊은 부귀환을 가진 집적회로직류증폭기를 말한다.

전자회로에서 연산증폭기는 그림 3-13과 같이 표시한다.

여기서 〈－〉입구를 반전입구라고 하며 〈＋〉입구를 비반전입구라고 한다.

반전입구라는것은 여기에 입구신호를 넣을 때 출구에서 위상이 반대가 된다는것이고 비반전입구라는것은 여기에 신호를 넣을 때 출구신호의 위상이 입구와 같아지게 된다는것이다.

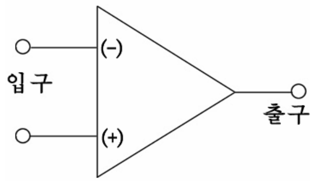


그림 3-13. 연산증폭기의 표시

다시말하여 반전이란 위상이 뒤집힌다는 뜻이고 비반전이란 위상이 뒤집히지 않는다는 뜻이다.

리상적인 연산증폭기는 어떤 특징을 가지는가?

① 리상적인 연산증폭기의 증폭결수는 거의 무한대에 가깝다. 지금 증폭결수가 $10^{10}$배정도의것도 생산되고있다.

② 리상적인 연산증폭기의 출구저항은 령에 가까우며 입구저항은

거의 ∞에 가깝다.

현재 입구저항이 $10^9\Omega$이상 되는 연산증폭기들도 생산되고있다. 이밖에도 여러가지 특성을 가지고있다.

연산증폭기는 우선 직류 및 교류증폭기로 리용한다.

연산증폭기는 또한 더하기, 덜기, 곱하기와 로그증폭, 미분, 적분과 같은 연산기능회로로 리용한다.

연산증폭기는 또한 전압안정회로, 평활려파기, 각종 발진기, 수자-상사 및 상사-수자변환기 등으로 쓰인다.

그림 3-14에 전형적인 연산증폭기의 실례를 보여주었다.

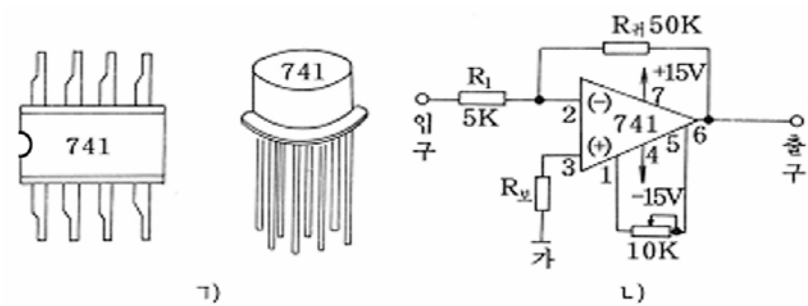



그림 3-14. 집적소자 741의 외형(ㄱ)와 그를 리용한 증폭기회로(ㄴ)

그림에서 $R_1$은 입구단자저항이며 $R_{귀}$는 귀환저항이다.

그리고 〈가〉는 가상접지점이라고 하는데 실제는 접지되지 않았지만 접지로 보는것이다.

그 근거는 입구저항을 ∞로 보므로 입구전류 $I_{입}\approx 0$으로 본다는데로부터 〈가〉점을 접지점으로 볼수 있다.

반전입구단자는 2번, 비반전입구단자는 3번이며 7번은 +15V전원단자, 4번은 -15V전원단자이다.

1번단자와 5번단자사이에 10kΩ정도의 가변저항을 련결하여 령점조절을 한다.

령점조절이란 입구신호가 없을 때에도 출구에 신호가 나타날수 있는데 이것을 령으로 만들기 위한 조절이다.

이 회로의 증폭결수를 보기로 하자.

입구전류 $I_{입}\approx 0$으로 보면 $I_1=I_{귀}$로 된다.

$$U_{입}=I_1\cdot R_1$$

$$U_{출}=-I_{귀}\cdot R_{귀}$$

증폭결수

$$K=\frac{U_{출}}{U_{입}}=-\frac{I_{귀}\cdot R_{귀}}{I_1\cdot R_1}=-\frac{R_{귀}}{R_1}$$

이 식에서 보는바와 같이 연산증폭기의 증폭결수는 증폭회로를 구성하고있는 내부요소값에는 관계되지 않고 외부에 련결된 입구단자저항과 귀환저항에만 관계된다.

표 3-1에 연산증폭소자 741의 정수와 특성을 보여주었다.

**연산증폭소자 741의 정수와 특성** 표 3-1

| K | $R_1$ | $R_{귀}$ | $R_{보}$ | f | 령점편차전압 | $R_{입}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| -1 | 10㏀ | 10㏀ | 40㏀ | 1㎒ | 6㎷ | 10㏀ |
| -10 | 10㏀ | 100㏀ | 10㏀ | 100㎑ | 60㎷ | 10㏀ |
| -100 | 1㏀ | 100㏀ | 1㏀ | 10㎑ | 0.6V | 1㏀ |
| -1 000 | 100Ω | 100㏀ | 100Ω | 1㎑ | 6V | 100Ω |

연산증폭소자 741은 내부보상이 되여있는 집적소자로서 비교적 낮은 증폭결수는 보통 10정도로써 외부에 다른 요소를 련결하지 않아도 쓸수 있다.

그러나 증폭결수가 100이상으로 되는 경우에는 출구에 나타나는 령점편의전압이 수V로 커진다.

이렇게 되면 사실상 쓸수 없다.

그래서 이때는 1번과 5번단자사이에 10㏀의 가변저항을 넣어서 령점편의전압을 최소로 되게 조절한다.

저항 $R_{보}$는 입구편의전류를 작게 하기 위하여 비반전입구단자에 련결하였다.

f는 연산증폭기가 증폭할수 있는 주파수대역너비이다. 보통 741소자는 10㎑의 대역너비에서 쓴다.

［실습］ 저주파증폭기만들기

## 1. 회로와 동작원리

저주파증폭기는 주로 사람의 말소리나 저주파신호를 크게 해주는 역할을 한다.

저주파증폭기는 신호원, 입구장치, 예비증폭단, 전력증폭단, 출구장치, 부하, 전원으로 구성되였다.

여기서는 10W저주파증폭기의 회로와 동작원리에 대하여 보기로 하자.(그림 3-15)

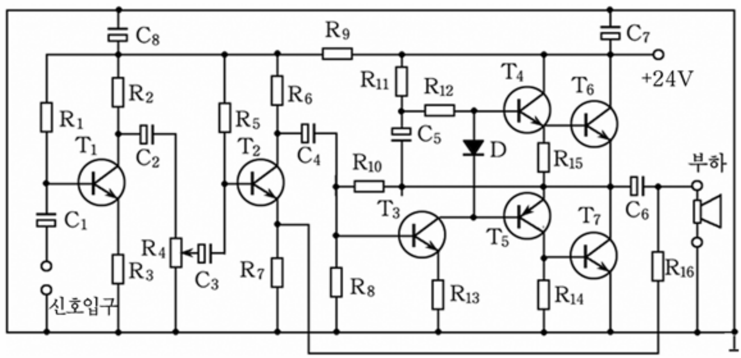



그림 3-15. 10W저주파증폭기의 회로도

이 증폭기는 모두 4단으로 구성되여있는데 첫 두개 단은 예비증폭단 셋째 단은 위상돌림단 넷째 단은 상보대칭전력증폭회로로 구성되여있다.

### 1) 첫째 예비증폭단

첫째 예비증폭단은 3극소자 $T_1$로 된 고정편의회로로 구성되여있다.

첫째 예비증폭단에서 $C_1$은 결합축전기, $R_1$은 $T_1$의 기초극편의저항, $R_2$는 $T_1$의 수전극부하저항, $R_3$은 $T_1$의 부귀환저항이다.

입구신호가 없을 때에는 기초극전류와 수전극전류가 일정하다.입구에 신호전압이 작용하면 즉 마이크신호가 들어오면 기초극전류와 수전극전류에 입구신호성분이 포함되므로 수전극부하저항 $R_2$에는 증폭된 신호전압이 나타나며 둘째 예비증폭단의 기초극으로 들어간다.

### 2) 둘째 예비증폭단

둘째 예비증폭단은 3극소자 $T_2$로 구성된 저항-용량결합증폭회로로 되여있다.

회로에서 $C_2$, $C_3$은 첫째 예비증폭단과 둘째 예비증폭단을 결합시키기 위한 결합축전기, $R_4$는 기초극전류를 조절하여 증폭결수를 변화시키기 위한 가변저항기(음향조절저항기), $R_5$는 $T_2$의 기초극편의저항, $R_6$은 $T_2$의 수전극부하저항, $R_7$은 $T_2$의 부귀환저항기이다.

전류흐름길은 첫단에서와 같다. 둘째 예비증폭단에서 증폭된 신호전압은 결합축전기 $C_4$를 통하여 위상돌림단회로로 들어간다.

### 3) 위상돌림단

3극소자 $T_3$으로 구성된 회로는 위상돌림단회로를 이룬다.

$T_3$의 기초극으로 신호전류가 흐를 때 $T_3$의 수전극에는 위상이 반대인 신호전압이 나온다.

이 위상이 반대인 신호전압은 $T_4$와 $T_5$의 기초극에 작용하여 전력증폭회로를 동작시킨다.

### 4) 전력증폭단

전력증폭단은 3극소자 $T_4$와 $T_5$로 구성된 상보대칭전력증폭단으로 되여있으며 출력소자 $T_6$을 $T_4$의 방사극에, $T_7$을 $T_5$의 수전극에 련결하여 증폭결수를 크게 하였다.

3극소자 $T_4$, $T_5$의 기초극편의전압은 2극소자 D에 의해 걸리게 되여있다.

회로의 동작과정을 보자.

$T_3$의 수전극에서 나오는 위상이 반대인 신호는 $T_4$와 $T_5$ 의 기초극에 작용하여 신호전압을 증폭한다.

$T_3$의 수전극신호가 〈+〉반주기인 경우에 3극소자 $T_4$가 열리면서 $T_6$도 열리여 $C_6$을 충전시킨다.

$+E_{수}$→$T_4$의 수전극→$T_4$의 방사극→$T_6$의 기초극→$T_6$의 방사극→$C_6$의 〈+〉극판→$C_6$의 〈-〉극판→고성기→접지

이때 축전기 $C_6$은 왼쪽극판이 〈+〉로, 오른쪽극판이 〈-〉로 충전되면서 고성기를 울린다.

충전전압은 거의 $E_{수}$와 같고 이 전압은 $T_5$의 방사극전압으로 된다.

$T_3$의 수전극신호전압의 〈-〉반주기인 경우 3극소자 $T_5$가 열리면서 $T_7$도 열리여 $C_6$에 충전된 신호전류가 방전되면서 고성기로 증폭된 신호전류가 흐르면서 고성기를 울린다.

이때 고성기로는 다음과 같은 방전회로를 따라 전류가 흐른다.

$C_6$의 〈+〉극→$T_7$의 방사극→고성기→$C_6$의 〈-〉극

이와 같이 고성기로는 $T_3$의 출구신호의 〈+〉반주기와 〈-〉반주기에 대하여 $T_4$와 $T_5$이 서로 엇바뀌여 열리면서 증폭된 신호전류가 흐른다. 즉 증폭된 신호전류가 고성기로 흘러 증폭된 소리가 나온다.

## 2. 저주파증폭기의 조립 및 조정방법

### 1) 전자요소들의 준비와 검사방법

표 3-2에 요소들의 값을 주었다.

**10W저주파증폭기의 전자요소와 자재명세표** 표 3-2

| 요소번호 | 이 름 | 규 격 | | 요소번호 | 이 름 | 규 격 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 부호 | 대용소자 규 격 | | | 부호 | 대용소자 규격 |
| $T_1$ | 반도체3극소자 | 다427 | C1815 | $R_{11}$ | 저항기 | 3.3kΩ | |
| $T_2$ | 반도체3극소자 | 다427 | C1815 | $R_{12}$ | 저항기 | 5.6kΩ | |
| $T_3$ | 반도체3극소자 | 다427 | C1815 | $R_{13}$ | 저항기 | 150kΩ | |
| $T_4$ | 반도체3극소자 | 다427 | C1815 | $R_{14}$ | 저항기 | 150Ω | |
| $T_5$ | 반도체3극소자 | 가110 | A1015 | $R_{15}$ | 저항기 | 22kΩ | |
| $T_6$ | 반도체3극소자 | 라710 | BU406 | $C_1$ | 전해축전기 | 1㎌/30V | |
| $T_7$ | 반도체3극소자 | 라710 | BU406 | $C_2$ | 전해축전기 | 1㎌/30V | |
| $R_1$ | 저항기 | 620kΩ | | $C_3$ | 전해축전기 | 1㎌/30V | |
| $R_2$ | 저항기 | 4.7kΩ | | $C_4$ | 전해축전기 | 1㎌/30V | |
| $R_3$ | 저항기 | 150Ω | | $C_5$ | 전해축전기 | 47㎌/30V | |
| $R_4$ | 가변저항기 | 47kΩ | | $C_6$ | 전해축전기 | 1 000㎌/50V | |
| $R_5$ | 저항기 | 620kΩ | | $C_7$ | 전해축전기 | 1 000㎌/50V | |
| $R_6$ | 저항기 | 4.7kΩ | | $C_8$ | 전해축전기 | 100㎌/50V | |
| $R_7$ | 저항기 | 150Ω | | D | 반도체2극소자 | | |
| $R_8$ | 저항기 | 10kΩ | | $+E_{수}$ | 직류전원 | 24V | |
| $R_9$ | 저항기 | 3.3kΩ | | | 땜납과 송진 | | |
| $R_{10}$ | 저항기 | 110kΩ | | | 조립기판 | | |

조립기판은 그림 3-16과 같다.

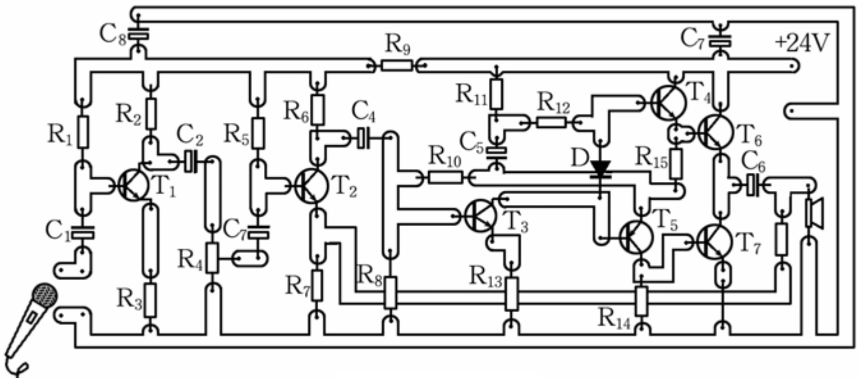



그림 3-16. 조립기판

전자회로조립에서는 먼저 조립할 회로에 해당한 전자요소들을 준비해야 한다. 먼저 회로도에 표시된 반도체소자를 준비해야 한다.

반도체소자준비에서는 소자의 자호가 회로도에 표시된 자호와 맞는것으로 선정하는것을 원칙으로 하며 없는 경우에는 그 소자와 특성이 같은 소자를 선택해야 한다. 저항기나 축전기준비에서는 회로도의 저항값과 용량값에 맞는가, 소비전력이나 사용전압이 맞는가를 확인하고 알맞는것으로 선정해야 한다.

전자요소가 준비되면 우선 외부검사를 하여 인출선이 끊어지지 않았는가, 외부적으로 흠집이 없는가를 확인하고 회로시험기로 검사한다.

검사결과 정상인 전자요소들을 갈라낸다.

### 2) 부분품배치와 회로배선에서 지켜야 할 점

① 전원변압기와 색류선륜, 출력변성기와 입구변성기를 리용할 때에는 그것들사이의 거리를 될수록 멀리 해야 한다.

출력변성기 혹은 전원변압기의 새기자속이 입구변성기의 권선축과 수직으로 사귀게 설치해야 한다. 즉 두 변성기들은 서로 90°의 각도로 설치해야 한다. 보통 전원변압기와 색류선륜은 기본조립판에 배치하지 않고 따로 배치한다.

② 신호전류가 흐르는 배선들은 차페선을 써야 한다.

③ 입구와 출구배선 및 요소들의 거리를 될수록 멀리 하며 특히 입구신호가 걸리는 배선들은 모두 차페선을 써야 한다.

④ 입구신호가 걸리는 배선들의 길이를 될수록 짧게 해야 한다.

⑤ 높은 증폭결수를 가진 여러단증폭기에서 접지점을 잘 처리해야 한다. 즉 공동전원단자를 증폭기의 마지막접지점에 될수록 가까이 련결하며 개별적단들에서 요소들의 접지점은 그 단의 방사극접지점에 같이 련결하는것이 좋다.

### 3) 인쇄배선 만드는 방법

회로의 조립과 배선은 인쇄배선판에 한다. 그러므로 조립에 앞서 인쇄배선판을 준비해야 한다. 인쇄배선판은 인쇄기판으로 만든다.

인쇄기판이란 베클라이트나 합성수지로 된 판대기에 동판을 얇게 붙여놓은 판대기를 말한다.

인쇄기판에는 동판을 한쪽 면에만 붙인 외면기판과 량쪽 면에다 붙인 량면기판이 있다.

인쇄기판은 다음과 같이 만든다.

① 조립해야 할 전자요소의 크기와 수량 등을 고려하면서 인쇄기판을 적당한 크기로 자른다.

② 종이우에 전자요소를 배치해보면서 배선도를 그린다. 이때 배선들이 서로 사귀지 않도록 하면서 제품의 문화성을 고려해야 한다. 부득히 사귀지 않으면 안되는 곳은 전기줄을 리용할것을 예견하여야 한다.

③ 인쇄기판을 연마종이로 깨끗이 연마한다.

④ 인쇄기판에 산에 견디는 약품으로 배선도를 옮겨그린다. 이때 배선들에서 급격한 꺾임이나 뾰족한 모서리가 없게 그려야 한다.

인쇄도선의 너비는 전류, 전압, 기계적세기, 제작가능성 등을 고려하면서 정하는데 여기서는 1~2㎜로 한다. 그리고 도선사이 간격은 1㎜이상 되게 한다.

산에 견디는 약품으로는 공장에서 만든것이 없으면 라크나 니스, 알콜 또는 휘발유에 푼 피치 혹은 기린피 등을 쓴다.

⑤ 인쇄기판을 부식액속에 잠그어 불필요한 부분을 부식시킨다. 부식액으로는 염화제2철용액 또는 15~20%의 질산 등을 쓴다.

부식속도는 부식액의 농도와 온도에 따라 달라진다. 부식액의 농도와 온도를 높이면 부식속도는 빨라지지만 그대신 남겨두어야 할 부분까지 부식될수 있으므로 적당히 하는것이 좋다.

⑥ 부식이 끝나면 기판을 물에 씻은 다음 잘 말리운다.

⑦ 기판에 남아있는 산에 견디는 약품을 물로 긁어내거나 신나, 알콜 등을 써서 깨끗이 없애버린다.

⑧ 정확히 부식되였는가 세심히 검사하고 인쇄도선이 끊어진것은 납땜으로 이어주고 채 부식되지 않은 부분은 칼로 따낸다.

⑨ 전자요소들의 인출선을 꽂을 자리를 표시하고 수동드릴 또는 전기드릴로 구멍을 뚫는다. 이 구멍뚫기는 부식에 앞서 먼저 할수도 있다.

⑩ 절연니스 또는 알콜에 송진을 푼 액을 기판에 골고루 발라주고 잘 말린다. 이렇게 하면 인쇄배선판이 완성된다.

#### 4) 납땜방법

땜납으로는 40%의 석과 60%의 연을 섞어서 만든 합금을 쓰는데 183℃에서 녹기 시작하여 235℃이면 완전히 녹는다.

송진은 땜납이 잘 붙게 하는것과 함께 금속겉면에 붙어있는 어지러운것들을 청소하는 역할을 하며 금속겉면이 어지러워지는것을 막아주는 보호막의 역할도 한다. 또한 금속겉면이 산화되는것을 막아주는 역할도 한다.

흔히 쓰는 송진은 깨끗이 밭은 송진에 테레빈기름을 섞어서 만든것인데 테레빈기름이 없을 때에는 알콜이나 글리세린, 석유, 벤졸 등에 풀어서 쓸수도 있다. 납땜은 전기인두로 한다.

전기인두는 전원전압이 110V 또는 220V에 쓸수 있게 만든다.

전기인두는 보통 250℃아래에서 쓰도록 만드는데 전원에 련결한 후 1~2min 지나면 이 온도에 이른다.

납땜은 다음과 같은 방법으로 한다.

① 잘 가열된 전기인두의 인두날에 납물을 묻힌다.

② 때려는 부분을 잘 닦아내고 땜송진을 바른 다음 땜납과 함께 전기인두를 대여 납물을 올린다.

③ 인쇄기판에 붙이려는 전자요소들의 다리를 적당하게 자르고 연마종이 또는 칼로 닦아낸다.

④ 닦아낸 전자요소들의 다리에 땜송진을 바르고 전기인두로 납물을 올린다.

⑤ 납물을 올린 전자요소들의 다리를 인쇄기판의 해당한 구멍에 끼워넣고 납땜한다.

⑥ 반도체소자나 집적소자의 다리를 인쇄기판에 붙이려고 할 때에는 핀세트로 때려는 다리를 잡고 빠른 시간안에 때야 한다.

⑦ 납땜이 끝나면 그 부분을 닦아낸다.

⑧ 납땜부분을 검사한다.

먼저 납땜부분이 둥글고 미끈한가를 검사한다.

다음 납땜이 잘되였는가를 검사한다. 이때에는 핀세트로 잡아당겨보거나 흔들어보는 방법으로 한다.

검사할 때 잘 붙지 않은 부분이 있으면 다시 붙인다. 이렇게 하면 납땜이 끝난다.

## 3. 저주파증폭기의 조립 및 시험과 조정

### 1) 저주파증폭기의 조립

회로의 조립과 배선은 마지막단으로부터 시작하여 거꾸로 나오면서 진행한다.

매 단에서는 먼저 저항기, 축전기, 선륜의 순서로 인쇄기판의 해당한 구멍에 꽂고 납땜하여 조립하며 반도체3극소자와 반도체2극소자는 마지막에 조립한다.

전자요소들을 조립할 때에는 세게 단 전기인두와 질좋은 납과 송진을 써서 빠른 시간안에 때야 한다.

① 인쇄기판의 땜할 부분에 납물 올리기

연마종이 또는 칼로 땜할 부분을 잘 닦은 다음 송진을 바른다. 다음 잘 가열된 전기인두로 납물을 올린다. 인쇄기판에 대한 납물올리기는 기판의 모든 부분에 대하여 다 같이 먼저 하는것이 좋다.

② 저항기, 축전기의 조립

먼저 저항기들을 인쇄기판의 해당한 구멍에 끼우고 전기인두로 납땜한다. 다음 축전기들을 해당한 구멍에 끼우고 납땜한다.

전해축전기들을 회로에 조립할 때에는 극성을 잘 보면서 극성에 맞게 조립하여야 한다. 소형전해축전기에는 단자가 두개 꼭같이 나와있는데 〈＋〉단자가 있는 겉통에 ⊕라는 표식이 찍혀져있으므로 그것을 참고로 단자극성을 갈라보면 된다.

큰 전해축전기들은 단자가 하나밖에 없는데 그 단자가 〈＋〉단자이며 축전기의 겉통이 〈－〉단자이다.

③ 반도체소자들의 조립

반도체3극소자를 조립할 때에는 기초극, 방사극, 수전극들을 정확히 찾아서 인쇄기판의 해당한 위치에 납땜하는것이 중요하다.

만일 잘못하여 다리들을 바꾸어서 납땜하면 회로가 동작하지 않을뿐아니라 소자를 못쓰게 만들수 있다.

반도체소자들을 납땜할 때에는 핀세트로 다리를 잡아주어 열이 소자내부에 적게 전달되게 해주며 잘 가열된 전기인두로 빨리 때붙혀야 한다.

출력소자들은 알루미니움판으로 만든 방열판과 함께 인쇄기판에 조립한다. 이때 방열판과 소자가 닿는 면이 정확히 밀착되여 열방출이 잘 되도록 하여야 한다.

반도체2극소자들은 극성에 주의하면서 인쇄기판의 해당한 구멍에 끼워넣고 납땜한다.

2) 저주파증폭기의 시험과 조정

**(1) 시험**

① 증폭기에 전원을 넣지 않은 상태에서 다음과 같이 시험한다.

- 요소들과 부분품들이 인쇄기판에 제대로 납땜되여있는가 또는 고정되였는가를 눈으로 확인한다.

- 회로시험기로 도통시험을 한다.

전원선과 접지선이 맞붙지 않았는가 혹은 납땜을 잘못하여 붙지 않을데 붙은것은 없는가를 축전기, 저항기, 반도체소자들의 련결점들사이의 저항을 측정해보면서 검사한다.

② 증폭기에 전원을 넣고 다음과 같이 시험한다.

- 회로시험기로 증폭기에 걸리는 직류전압을 측정해본다.

- 회로시험기로 매 3극소자의 방사극과 수전극에 걸리는 직류전압을 측정해본다. 이때 직류전압은 걸리는데 전류가 흐르지 않는다면 3극소자들이 못쓰게 된것으로 판정한다.

- 회로시험기로 매 3극소자의 기초극에 걸리는 직류전압을 측정해본다.

소자에 따라 조금씩 다르지만 이 전압은 0.1~1V이면 정상이다.

**(2) 조정**

① 모든 배선과 납땜이 정상이면 출구에 고성기를 련결하고 전원을 넣는다.

이때 고성기에서 〈삑—〉하는 소리가 크게 들리면 부반결합회로가 잘못된것이다.

② 다음 나사돌리개나 손가락으로 매 단의 기초극에 순차적으로 댈 때 고성기에서 〈붕—〉소리가 앞단으로 갈수록 점점 크게 들리면 증폭기가 제대로 동작한다고 볼수 있다.

만일 나사돌리개의 끝을 댈 때에도 고성기에서 아무런 소리가 들리지 않으면 회로시험기로 전원전압을 검사한다.

이때 전압이 제대로 걸린다면 출력단회로가 제대로 동작하지 못하는것이며 전원전압이 걸리지 않으면 전원단의 고장이다.

이와 같은 방법으로 출구에서부터 입구까지 가면서 차례로 시험하여 어느 단이 고장인가를 대략적으로 판정한다.

고장난 단이 판정되면 그 부분에 대한 구체적인 시험을 진행하여 고장난 부분을 찾고 퇴치한다.

### (3) 시험 및 조정에서 주의할 점

① 증폭기에 규정된 직류전원을 주어야 한다.

② 증폭기의 요소나 부분품을 바꾸려고 할 때에는 반드시 전원을 끄고 해야 한다.

만일 전원을 끄지 않고 납땜하면 전기인두의 새기전류가 반도체소자로 흘러가면서 요소를 못쓰게 만들수 있다.

③ 반도체3극소자를 검사하려고 할 때에는 기초극을 인쇄기판에서 떼내고 해야 한다.

④ 요소의 저항값을 검사하려고 할 때에는 부하와 전원회로를 떼놓고 시험해야 한다.

그렇지 않으면 다른 회로를 거쳐 전류가 흐를수 있으므로 정확한 저항값이나 용량값을 알아낼수 없다.

## 제5절. 고주파회로

고주파회로란 주파수가 20㎑이상 되는 신호를 취급하는 전자회로를 말한다.

신호의 주파수가 높아질수록 회로안에서 선륜의 유도도 L과 축전기의 용량 C의 영향이 보다 두드러지게 나타나며 반도체2극소자, 3극소자, 집적회로의 동작에서 제한을 받게 된다.

고주파회로는 그의 사명과 용도에 따라 고주파증폭회로, 고주파발진회로, 주파수변환회로, 변조회로, 검파회로 등으로 나눈다.

### 1. 공진회로

#### 1) 진동회로

진동회로란 전자기적인 떨기(진동)를 일으키는 회로를 말한다.

이러한 진동회로는 그림 3-17과 같이 축전기 C와 선륜 L로 된 닫긴전기회로를 들수 있다.

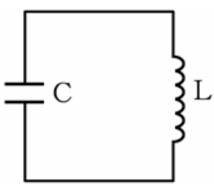



그림 3-17. LC진동회로

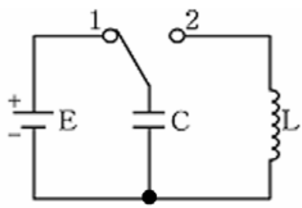



그림 3-18. 전자기진동의 원리회로

그러면 이 진동회로에서 어떻게 전자기진동이 생기는가를 보기로 하자.

그림 3-18과 같이 회로를 구성하고 스위치를 1위치에 련결하자.

이때 축전기 C는 전원전압 E에 의하여 충전되여 축전기의 두 극판사이에는 전위차(전압)가 생기게 된다. 축전기에서 전력은 전기마당의 에네르기형태로 저축된다.

다음 스위치를 2위치에 련결하면 축전기의 두 극판사이의 전위차에 의하여 스위치와 선륜을 통하여 방전전류가 흐르게 된다.

이 방전전류에 의하여 선륜은 그 주위에 자기마당을 만든다.

축전기에 충전되였던 전기량이 거의다 방전하여 방전전류가 작아지기 시작하면 선륜주위에 형성되였던 자기마당의 세기도 작아지게 된다.

선륜은 자체유도현상에 의하여 역기전력을 만드는데 그의 방향은 전류의 변화를 방해하는 방향으로 향한다. 이 역기전력에 의하여 축전기에 저축되였던 전기량이 다 방전한 이후에도 같은 방향으로 전류가 계속 흘러 축전기가 처음과는 반대극성으로 충전된다.

결국 축전기의 전기마당의 에네르기가 선륜에서 자기마당의 에네르기로 변환되였다가 다시 축전기에 전기마당의 에네르기로 충전되는데 처음과는 극성이 반대로 된다.

이 과정이 끝나면 다시 축전기가 선륜을 통하여 먼저와는 반대방향의 전류를 흘리면서 방전한다. 이때도 앞에서와 같은 원리로 축전기의 전기마당의 에네르기가 선륜에서 자기마당의 에네르기로 변환되였다가 축전기에 다시 전기마당의 에네르기로 충전된다.

이와 같이 축전기 C와 선륜 L로 된 닫긴전기회로에 외부에서 한번 직류에네르기를 주면 전기마당과 자기마당이 주기적으로 부단히 서로 엇바뀌면서 회로에 크기와 방향이 주기적으로 변하는 진동전류가 흐르게 된다.

이와 같은 현상을 **전자기진동**이라고 부르며 이런 전자기진동을 일으키는 닫긴전기회로를 **진동회로**라고 부른다.

진동회로는 축전기의 전기용량 C와 선륜의 유도도 L의 크기에 관계되는 자체의 고유한 진동주파수를 가진다. 이 주파수를 진동회로의 **고유주파수**라고 부른다. 진동회로의 고유주파수는 다음식으로 결정된다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

앞에서 본 LC진동회로는 외부에서 한번 에네르기를 받으면 끊임없이 전자기진동을 진행하는것이 아니라 회로에서의 손실로 인하여 그 진폭이 점점 작아지면서 일정한 시간이 지나면 완전히 잦아들고 만다.

진동회로에서 전자기진동이 잦아들지 않고 계속되게 하자면 외부에서 주기적으로 에네르기를 공급하여야 한다.

### 2) 공진회로

진동회로에 작용하는 전기적신호의 주파수가 진동회로의 고유주파수와 같아질 때 전압 또는 전류의 진폭이 최대로 된다. 이런 현상을 **공진**이라고 부르며 공진이 일어나도록 만든 회로를 **공진회로**라고 부른다.

공진회로는 전자장치들에서 요구하는 주파수의 신호만을 선택하여 처리하는데 흔히 리용된다.

공진회로에는 직렬공진(전압공진이라고도 부른다.)회로와 병렬공진(전류공진이라고도 부른다.)회로가 있다.

#### (1) 직렬공진회로

그림 3-19와 같이 축전기 C와 선륜 L이 직렬로 련결된 회로에 고주파발진기(외부 교류신호원)와 전자전압계를 련결하자.

고주파발진기의 출력은 일정하게 보장하면서 그 주파수를 0으로부터 600㎑까지의 사이에서 변화시키면 어떤 주파수를 기준으로 전자전압계의 바늘이 점차 최대값에 이르렀다가 다시 되돌아가는것을 볼수 있다. 또한 축전기에 걸리는 전압과 선륜에 걸리는 전압의 크기가 같아지는것을 볼수 있다.

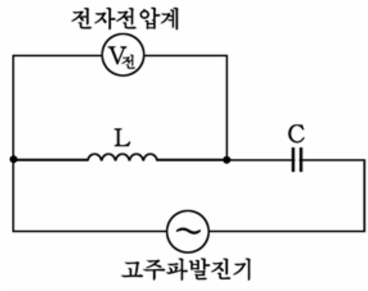


그림 3-19. 직렬공진실험회로

이 실험을 통하여 어떤 주파수(실례로 465㎑)에서 L과 C에 걸리는 전압이 최대(발진기출구전압의 약 100배정도)로 된다는것을 알수 있다.

이런 현상을 **직렬공진**이라고 부르며 L과 C에서의 전압이 최대로 되는 때의 주파수를 직렬공진회로의 **공진주파수**(고유주파수)라고 부른다.

직렬공진은 진동회로의 고유주파수와 외부신호의 주파수가 같아질 때 일어난다.

직렬공진이 일어날 때 회로의 총저항은 최소로 되고 회로에는 최대전류가 흐른다. 직렬공진회로는 불필요한 신호를 제거하는 잡음흡수회로 등에서 많이 쓰인다.

### (2) 병렬공진회로

그림 3-20과 같이 축전기 C와 선륜 L을 병렬로 련결한 회로에 고주파발진기와 전자전압계를 련결하고 고주파발진기의 발진주파수를 0부터 600㎑사이에서 변화시키자.

전자전압계의 바늘이 직렬공진실험때와 마찬가지로 어떤 주파수에서 최대값을 가리키는것을 볼수 있다.

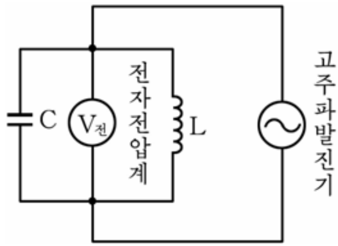



그림 3-20. 병렬공진실험회로

이런 현상을 **병렬공진**이라고 부르며 이때의 주파수를 병렬공진회로의 **공진주파수**(또는 고유주파수)라고 부른다.

병렬공진이 일어날 때 진동회로의 전압은 최대로 된다.

병렬공진회로는 TV, 라지오수신기 등의 입구회로에서 필요한 신호만을 선택하는 회로로 많이 쓰인다.

입구진동회로의 고유주파수를 수신하려는 방송국의 신호주파수(통로)에 맞추어놓으면 병렬공진이 일어나 수신하려는 신호전압만 커지고 그밖의 다른 신호전압은 작아진다. 따라서 수신하려는 전파만을 선택할수 있다. 이런 작용을 **동조**라고 한다. 병렬공진회로는 또한 고주파증폭회로와 중간주파증폭회로의 부하로도 많이 쓰인다.

## 2. 고주파증폭회로

고주파증폭회로란 수십㎑로부터 수백㎒까지의 높은 주파수의 신호를 증폭하는 회로를 말한다.

고주파증폭회로는 입구에 들어오는 여러가지 주파수의 신호들가운데서 필요한 하나의 주파수 또는 좁은 범위의 주파수신호만을 증폭하는데 많이 쓰인다. 이런 의미에서 고주파증폭회로를 **선택증폭회로**라고 부른다.

고주파증폭회로의 증폭작용은 저주파증폭회로에서와 기본적으로 같다. 그러나 회로구성에서는 일련의 차이가 있다.

저주파증폭회로에서는 부하로 흔히 저항기나 변성기 같은것이 리용되지만 고주파증폭회로에서는 부하로 LC공진회로가 리용되는것

이 특징이다.

그러면 고주파증폭회로에서는 왜 부하로 LC공진회로를 쓰는가?

첫째로, 증폭도를 크게 하기 위해서이다.

부하를 공진회로로 하였으므로 출구전압이 증폭소자에서 증폭된 신호전압보다 훨씬 더 커지게 된다.

둘째로, 요구되는 주파수의 신호만을 선택적으로 증폭하기 위해서이다.

이미 앞절에서 학습한바와 같이 LC진동회로는 L과 C의 크기에 의하여 결정되는 자기의 고유주파수를 가지고있다.

이 진동회로에 걸리는 전압은 신호주파수와 진동회로의 고유주파수와 같을 때 즉 공진이 일어날 때 최대로 된다. 따라서 진동회로의 고유주파수와 같은 주파수를 가진 신호만 선택적으로 크게 증폭할수 있다.

그러면 그림 3-21와 같은 고주파증폭회로에서 어떻게 신호가 선택적으로 증폭되는가를 보기로 하자.

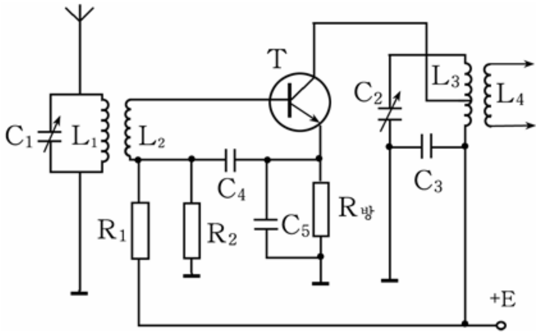



그림 3-21. 고주파증폭회로

고주파증폭회로에서는 신호의 주파수가 높으므로 증폭소자로 고주파용3극소자를 쓴다. 또한 입구진동회로 $L_1C_1$과 출구진동회로 $L_3C_3$는 신호의 주파수에 공진되게 한다.

안테나로부터 들어온 고주파신호는 입구진동회로 $L_1C_1$에서 그의 고유주파수와 같은 주파수의 신호만이 선택되며 그것이 $L_2$를 거쳐 고주파3극소자의 기초극에 들어가 증폭된다. 3극소자에서 증폭된 신호는 출구진동회로 $L_3C_2$에서 다시 선택증폭되여 $L_4$로 넘어간다.

입구 및 출구진동회로의 고유주파수는 가변축전기 $C_1$과 $C_2$로 변화시킬수 있다. 흔히 $C_1$과 $C_2$로는 하나의 손잡이로 된 2련가변축전기를 쓴다.

## 3. 발진회로

발진이란 진동을 일으킨다는 뜻인데 전자회로에서 발진회로라고 할 때는 전기적진동을 만들어내는 회로를 말한다.

발진을 실현하는 물리적기초는 진동계에서의 자유진동이 여러가지 원인에 의하여 그 진폭이 잦아드는것을 보상해서 잦아들지 않게 하는것이다.

진동계에서 진폭이 잦아드는 중요한 원인은 유효저항 등에서 생기는 자체손실과 발진세력의 일부를 부하에 공급해줌으로써 생기는 외부손실때문이다. 그러므로 진동계에 부단히 에네르기를 보충해주어야 발진이 유지될수 있다.

이 에네르기보충은 회로에 직류전원을 련결하여 실현한다. 따라서 **발진과정**이란 회로에 공급되는 직류에네르기를 교류신호로 바꾸는 과정이라고 말할수 있다.

발진회로에는 여러가지 종류가 있다.

우선 발진주파수에 따라 저주파발진회로, 고주파발진회로, 초단파발진회로 등으로 나눈다. 그리고 발진파형에 따라 조화파(시누스파)발진회로와 임풀스발진회로로 나눈다. 또한 회로의 구성과 동작원리에 따라서도 여러가지로 나눌수 있다.

그러면 발진회로에서 실지 어떻게 발진이 실현되는가를 그림 3-22와 같은 회로에서 보기로 하자.

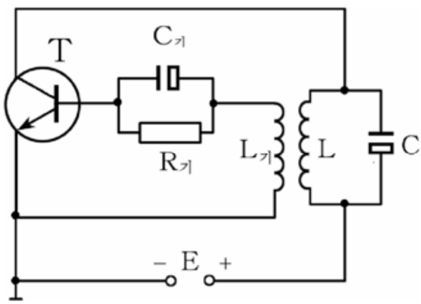



**그림 3-22. 유도결합발진회로**

보통 발진회로는 증폭회로와 출구진동회로, 출구세력의 일부를 입구에 같은 위상으로 되돌려보내는 정귀환회로로 이루어진다

회로에 전원을 련결하는 순간 초기충격전류(변하는 전류)가 3극소자의 수전극—방사극용량을 통해 흐른다. 그리하여 진동회로의 축전기 C가 그림과 같은 극성으로 충전된다.

한편 초기충격전류가 L로 흐르면 $L_기$에 기전력이 유기되여 기초극축전기 $C_기$가 그림과 같은 극성으로 충전된다.

이 순간이 지나면 $C_기$에 충전된 전기량이 기초극저항 $R_기$를 통해 방전하면서 기초극에 〈-〉편의전압이 걸리게 하여 3극소자를 닫는다.

3극소자가 닫기면 진동회로의 축전기 C는 L을 통해 방전하면서 전자기진동을 일으킨다.

한편 L로 방전전류가 흐르면 상호유도현상에 의해 $L_기$에 기전력이 생긴다. 이 기전력에 의해 3극소자의 기초극쪽이 〈+〉로 되게 $L_기$를 련결하면 3극소자가 열리고 전원으로부터 LC진동회로에 소비된 에네르기를 보충해준다.

다음 순간 즉 C의 웃극판이 〈+〉일 때는 $L_기$에 유기되는 기전력의 극성이 바뀌여 3극소자의 기초극쪽이 〈-〉로 되면서 3극소자가 닫기고 C는 먼저와 반대방향으로 L을 통하여 방전한다.

이상과 같은 과정이 부단히 반복되면서 진동회로에서 전자기진동이 계속된다. 즉 발진한다.

회로의 발진주파수는 다음 식으로 결정된다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

## 4. 주파수변환 및 중간주파증폭회로

주파수변환이란 신호의 모양은 변화시키지 않고 그 주파수만 적당한 크기로 낮추어주는 조작을 말한다.

### 1) 주파수변환회로

주파수변환을 실현하자면 기본신호와 함께 그보다 주파수가 얻으려는 크기만큼 더 높은 주파수가 있어야 한다. 이 고주파를 얻어내기 위하여 장치안에 설치하는 고주파발진회로를 **국부발진회로**라고 부른다. 그리고 주파수변환되여 출구에서 얻어지는 신호를 **중간주파신호**라고 부른다.

주파수변환회로는 TV, 라지오수신기를 비롯하여 수신기들에서 널리 리용되고있다.

수신기들에서 주파수변환회로를 쓴 리유는 다음과 같다.

안테나를 통하여 수신기의 입구에 들어오는 신호는 주파수가 매우 높은 고주파신호이다. 이 고주파신호를 그대로 필요한 크기까지 증폭하자면 매우 복잡한 회로를 써야 하는것을 비롯하여 기술적으로 여러가지 문제들이 제기된다.

그러나 주파수변환회로에서 주파수가 보다 낮은 일정한 주파수의 신호로 변환되면 신호를 다루기 쉽고 증폭회로가 간단해지며 증폭단이 여러개인 경우에도 신호에 동조시키기 쉬워진다.

그러면 회로에서 주파수변환이 어떻게 실현되는가를 보자.(그림 3-23)

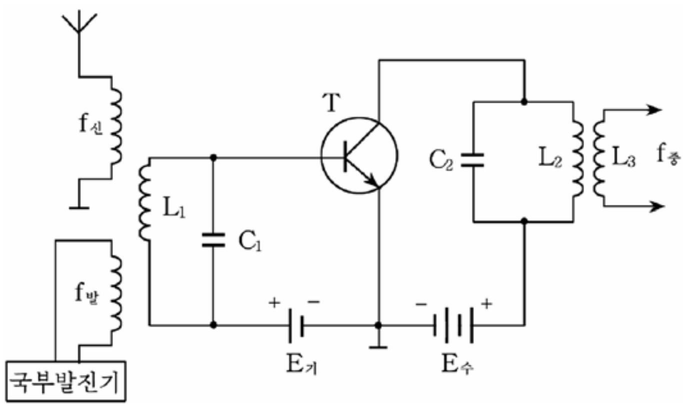



**그림 3-23. 주파수변환의 원리**

주파수변환원리는 3극소자의 입구(기초극 또는 방사극)에 주파수가 서로 다른 두개의 신호 즉 안테나로부터 오는 기본신호($f_{신}$)와 수신기안에 있는 국부발진기에서 오는 신호($f_{발}$)를 함께 넣으면 출구(수전극)에 이 두 신호의 차주파수신호가 나온다는데 기초하고 있다. 즉 출구에서 얻어지는 중간주파수 $f_{중}$은

$$f_{중}=f_{발}-f_{신}$$

으로 된다.

그림에서 $L_1C_1$은 입구진동회로로서 신호주파수에 동조시키며

$L_2C_2$는 출구진동회로인데 이것은 중간주파수에 공진되도록 하였다. 그러므로 $L_3$으로는 주파수변환된 신호 즉 중간주파신호만 넘어간다.

주파수변환용으로 쓰이는 3극소자를 **주파수변환소자** 또는 **혼합소자**라고 부른다. 주파수변환회로를 **주파수혼합회로**라고 부르는 경우도 있다.

TV에서는 동조기안에 국부발진회로와 주파수변환회로를 설치하고 여기서 영상 및 음성의 중간주파신호를 얻어내고있다.

### 2) 중간주파수증폭회로

중간주파증폭회로는 주파수변환회로에서 얻어진 중간주파신호를 증폭하는 회로이다.

중간주파증폭회로에서는 항상 일정한 주파수의 신호만 증폭하므로 수전극진동회로에 가변축전기를 쓰지 않아도 항상 신호주파수에 동조되도록 할수 있다.

그러면 실제 중간주파증폭회로의 구성과 동작원리를 보기로 하자.(그림 3-24)

그림 3-24의 ㄱ)는 세개의 증폭단으로 된 중간주파증폭기의 회로이다.

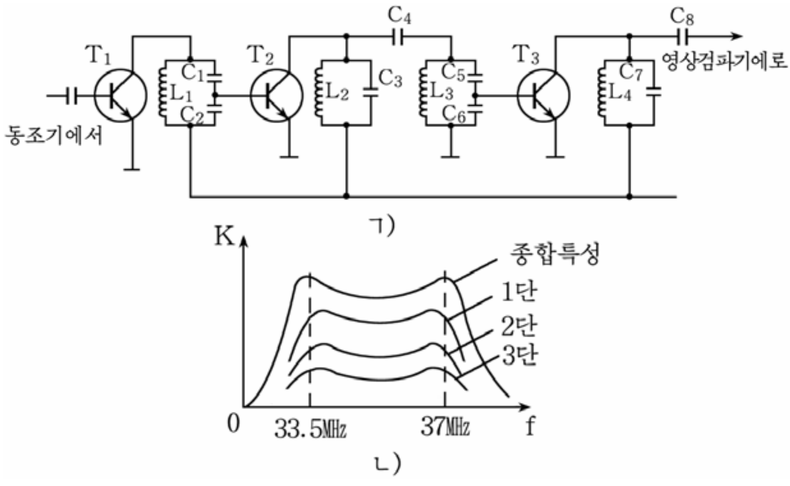



그림 3-24. 중간주파증폭회로(ㄱ)와 주파수특성(ㄴ)

매 단 3극소자의 수전극회로에는 중간주파수에 공진되는 진동회로가 있다. 첫 단 3극소자 $T_1$의 기초극에 주파수변환회로로부터 오는 중간주파신호를 가하면 그것이 증폭되여 수전극진동회로 $L_1C_1C_2$에 걸린다.

$L_1C_1C_2$는 중간주파수에 공진시켰으므로 이 진동회로의 두 끝사이에서 중간주파신호전압이 최대로 되여 나타난다.

이때 $C_2$에 걸린 전압이 두번째 증폭단의 입구신호전압으로 되여 3극소자 $T_2$의 기초극와 방사극사이에 가해진다. 그러면 앞단에서와 같은 원리로 증폭된 신호전압이 수전극진동회로에 나타나며 그것이 세번째 증폭단에서 더 크게 증폭된다.

회로에서 $C_4$와 $C_3$은 증폭단사이를 결합시키는 결합축전기이다.

TV에서도 이와 류사한 원리로 중간주파증폭회로를 구성하고있는데 신호가 6.5㎒의 넓은 주파수대역을 가지므로 매개 단의 공진주파수를 조금씩 다르게 하여 넓은 주파수통과대역과 큰 증폭도를 얻고있다. 그림 3-32의 ㄴ)는 이때의 종합주파수특성을 보여주고있다.

## 5. 변조 및 검파회로

### 1) 변조에 대한 개념

직류나 저주파진동은 안테나에서 전자기파로 잘 복사되지 않는다.

그런데 TV이나 라지오방송에서 쓰이는 영상신호와 음성신호는 주파수가 그리 높지 못한 저주파신호들이다. 그러므로 이 신호를 그대로는 전자기파로 공간에 내보낼수 없다.

이런 저주파신호를 전자기파로 내보내자면 저주파신호들을 고주파에 태워보내야 한다. 이때 저주파신호를 고주파에 태우는 조작이 변조이다.

변조란 고주파진동의 진폭 또는 주파수를 신호(음성이나 영상 등)의 모양대로 변화시키는 조작을 말한다.

그리고 변조를 실현하는 전자회로를 **변조회로**라고 부른다.

여기서 고주파진동은 신호를 나르는 역할을 한다는 의미에서 **반송파**라고 부른다. 그리고 변조에 참가하는 저주파신호를 **변조파**, 변조파의 모양대로 변조된 고주파를 **피변조파**라고 부른다.

변조방식에는 진폭변조, 주파수변조 등 여러가지가 있다.(그림 3-25)

① 진폭변조

진폭변조는 그림 3-25의 ㄱ)와 같이 변조파의 〈+〉반주기에는 반송파의 진폭이 커지고 변조파의 〈-〉반주기에는 반송파의 진폭이 작아지는 변조방식이다. 즉 반송파의 진폭을 변조파의 모양대로 변화시키는 것이 **진폭변조**이다.

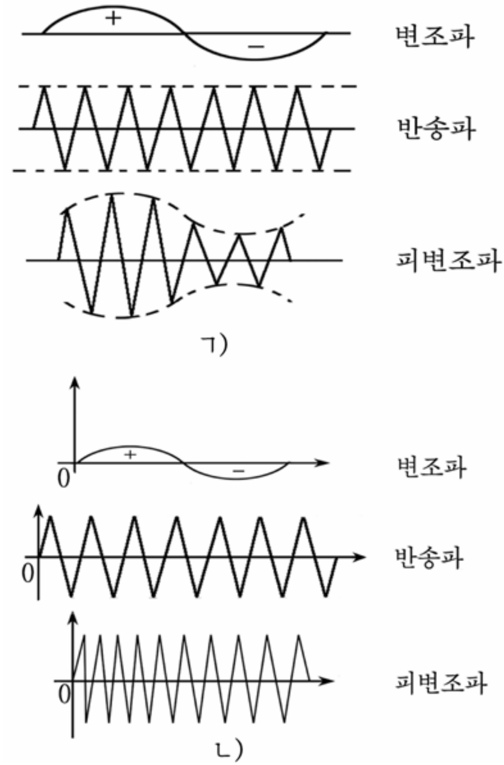



**그림 3-25. 변조원리**

ㄱ- 진폭변조, ㄴ- 주파수변조

② 주파수변조

주파수변조는 그림 3-25의 ㄴ)와 같이 변조파의 〈+〉반주기에는 반송파의 주파수를 변조파의 진폭에 비례하여 커지게 하고 변조파의 〈-〉반주기에서는 반송파의 주파수를 변조파의 진폭에 비례하여 작아지도록 하는 변조방식이다. 즉 보내려는 신호(변조파)의 모양에 따라 반송파의 주파수를 변화시키는 변조방식을 **주파수변조**라고 부른다.

TV방송에서 영상신호에 대해서는 진폭변조를 하고 음성신호에 대해서는 주파수변조를 한다.

라지오방송에서는 진폭변조(AM)방식과 주파수변조(FM)방식을 다같이 쓰고있다.

### 2) 검파

검파란 송신측에서 보내오는 피변조파에서 변조파(저주파신호)를 갈라내는 조작을 말하며 이런데 쓰이는 전자회로를 검파회로라고 부른다.

그러면 검파회로가 어떻게 구성되며 어떻게 검파가 진행되는가를 보자.(그림 3-26)

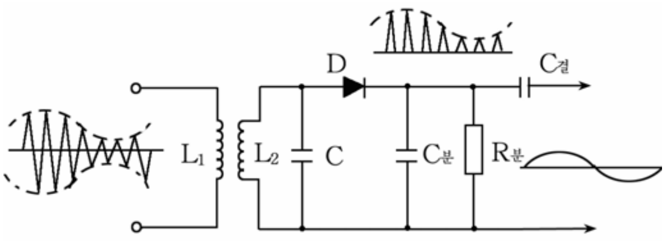



그림 3-26. 2극소자검파회로

그림에서 $L_2C$는 피변조파주파수에 공진(동조)된 입구진동회로이고 2극소자 D는 검파소자, $C_{분}$은 고주파분로축전기, $R_{부}$는 검파회로의 부하저항, $C_{결}$은 결합축전기이다.

입구진동회로 $L_2C$를 통해 들어온 피변조파는 2극소자 D에서 아래절반부분이 잘리워 비대칭맥동파로 된다.

이 맥동파속에는 직류성분, 변조파(신호)성분, 고주파성분들이 다 포함되여있다. 이가운데서 고주파성분은 $C_{분}$을 통해서 접지로 흐르고 변조파성분과 직류성분만 $R_{부}$에 걸린다.

그런데 검파회로의 출구에 결합축전기 $C_{결}$이 있으므로 직류성분은 여기서 차단되고 변조파(신호)성분만이 다음 단(증폭기)으로 넘어간다.

2극소자검파회로에서는 2극소자를 어떻게 회로에 련결하는가에 따라 검파된 신호의 극성이 달라진다.

그림 3-27에서 보는바와 같이 신호가 2극소자의 양극에 걸리게 하면 정극성신호가 얻어지고 음극에 걸리게 하면 부극성신호가 얻어진다.

TV의 영상검파회로에서 정극성신호를 얻는가, 부극성신호를 얻는가 하는것은 다음 단인 영상증폭회로가 몇개 단인가와 수상관의 어느 전극에 신호를 주는가 하는데 따라 결정된다.

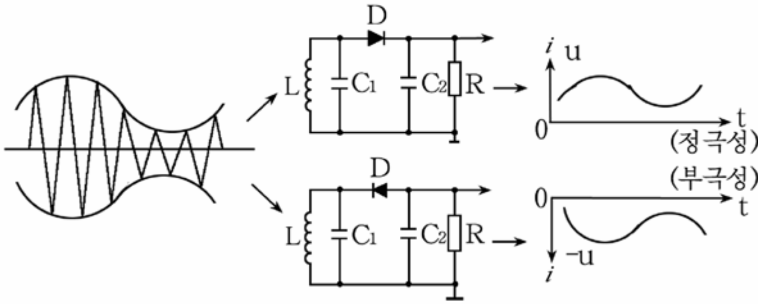



그림 3-27. 검파소자의 련결방법과 신호의 극성

**련습문제**

1. 진동회로에서 선륜은 어떤 역할을 하는가?
2. 진동회로의 고유주파수를 크게 하려면 어떻게 해야 하는가?
3. 직렬공진과 병렬공진의 차이점은 무엇인가?
4. L=10μH, C=400㎊인 LC진동회로의 고유주파수는 얼마인가?
5. 그림 3-22에서 증폭회로는 어느것이며 귀환회로는 어느것인가?
6. 한 학생이 그림 3-22을 보면서 회로를 만들었는데 동작하지 않았다. 생각끝에 선륜 $L_{귀}$의 두 끝에 련결한 전기줄을 서로 바꾸었더니 잘 동작하였다. 그 리유를 설명하라.
7. TV의 수신안테나에서 받은 영상신호의 주파수가 93.25㎒이다. 38㎒의 영상중간주파신호를 얻으려면 국부발진기의 발진주파수를 얼마로 하여야 하겠는가?
8. 중간주파증폭회로와 고주파증폭회로의 같은 점은 무엇이며 차이점은 무엇인가?
9. 진폭변조와 주파수변조의 공통점과 차이점을 설명하여라.

# 제4장. 수자회로의 기초

## 제1절. 수체계

### 1. 수체계에 대한 개념

수체계란 수를 읽고쓰는 방법의 총체를 말한다.

수체계에는 자리수체계와 비자리수체계가 있다.

자리수체계란 수들이 일정한 개수의 수기호로 표시되면서 이 수기호들이 소수점으로부터 오른쪽 또는 왼쪽으로 몇자리만큼 떨어져있는가에 따라 다른 수값을 표시하게 되여있는 수체계를 말한다.

자리수체계에서는 수기호가 놓이는 자리에 따라 다른 내용(크기)을 나타낸다.

자리수체계는 수를 표시하는데 쓰이는 수기호의 개수에 따라 수기호가 10개이면 10진수체계, 수기호가 2개이면 2진수체계, 수기호가 16개이면 16진수체계 등으로 나눈다.

비자리수체계란 수값이 수기호들이 놓이는 자리에 의해서가 아니라 수기호에 의하여 결정되는 수체계를 말한다.

비자리수체계에서는 한 기호가 어느 자리에서나 같은 내용(크기)을 나타낸다.

로마수자는 비자리수체계이다.

로마수자 LXX(10진수로 70)에서 L은 50, X는 자리에 관계없이 각각 10을 나타낸다.

콤퓨터를 비롯한 수자장치들에서는 자리수체계만이 쓰이므로 이에 대해서 보기로 하자.

#### 1) 10진수체계

우리가 일상생활에서 흔히 쓰고있는 수체계는 10진수체계이다.

10진수체계는 0∼9까지의 10개의 수기호로써 모든 수들을 표시하며 9다음에 자리올림이 이루어진다.

10진수체계에서 모든 수는 10의 제곱합렬로 표시할수 있다.

**실례:** 12.27을 10의 제곱합렬로 표시하여라.

$$12.27=1\times10+2\times1+2\times0.1+7\times0.01=$$
$$=1\times10^1+2\times10^0+2\times10^{-1}+7\times10^{-2}$$

이 실례에서 $10^1$, $10^0$, $10^{-1}$, $10^{-2}$을 10진수체계에서의 **무게**라고 하며 여기서 10을 10진수체계의 **밑수**라고 부른다. 여기로부터 10진수체계는 10을 밑수로 하는 수체계라고 말할수 있다.

**2) 2진수체계**

2진수체계는 두개의 수기호 0과 1로 모든 수를 표시하는 수체계이다.

2진수체계에서는 1다음에 자리올림이 이루어진다.

2진수체계에서 모든 수들을 2의 제곱합렬로 표시할수 있다.

**실례:** 2진수 1101과 101.11을 제곱합렬로 표시하여라.

$$1101=1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$$

$$101.01=1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}$$

이 실례에서 $2^3$, $2^2$, $2^1$, $2^0$, $2^{-1}$, $2^{-2}$은 2진수체계에서의 **무게**이며 이때 2는 2진수체계의 **밑수**이다.

콤퓨터를 비롯한 수자장치들에서는 왜 10진수체계를 쓰지 않고 2진수체계를 쓰고있는가?

콤퓨터를 비롯한 수자장치들에서 우리가 일상적으로 쓰면서 습관된 10진수체계를 쓰지 않고 2진수체계를 쓰는 리유는

- 첫째로, 임의의 2진수는 두가지 안정상태만을 가지는 물리적요소를 써서 회로적으로 쉽게 실현할수 있기때문이다.

2진수체계는 1과 0이라는 두개의 수기호로 모든 수를 표시할수 있기때문에 회로에 전류가 흐르는 상태를 1, 흐르지 않는 상태를 0에 또한 전압이 높은 상태를 1, 낮은 상태를 0에 대응시킨다면 이 회로를 쉽게 표현할수 있다.

그러나 10진수체계를 쓰려면 명확히 구별되는 10개의 상태만을 가지는 요소를 실현하여야 하는데 이것은 여러가지 복잡한 기술적문제로 하여 실현하기 힘들다.

- 둘째로, 2진수체계에서는 더하기, 덜기, 곱하기, 나누기와 같은 산수연산이 다른 수체계들에 비해 훨씬 간단히 수행되기때문에 연산회로를 구성하기 쉽다.

- 셋째로, 2진수체계를 리용하면 간단한 론리적판단을 쉽게 수학적으로 표시할수 있다.

례하면 〈옳다〉라는 판단에 1, 〈아니다〉라는 판단에 0을 대응시킴으로써 론리판단과정을 2진수렬로 쉽게 표현할수 있다.

이로부터 일상적으로 습관된 10진수체계를 쓰지 않고 2진수체계를 쓰게 된다.

#### 3) 16진수체계

16진수체계는 0～9와 A, B, C, D, E, F로 된 16개의 수기호에 의하여 표시되는 수체계이다.

16진수체계에서는 F(10진수에서는 15)다음에 자리올림이 일어난다. 16진수도 모든 수를 제곱합렬로 표시할수 있는데 이때 밑수는 16이다.

**실례**: 16진수 7B5D를 제곱합렬로 표시하여라.

16진수 B는 10진수로 11, D는 13이므로 제곱합렬을 다음과 같이 표시할수 있다.

$$7B5D=7\times16^3+B\times16^2+5\times16^1+D\times16^0=$$
$$=7\times16^3+11\times16^2+5\times16^1+13\times16^0$$

## 2. 수체계들사이의 호상변환

10진수, 2진수, 16진수체계로 표시된 수들은 서로 다른 수체계로 변환하여 표시할수 있다.

#### 1) 10진수와 2진수사이의 호상변환

##### (1) 10진수를 2진수에로의 변환

10진수를 2진수로 변환하려면 주어진 10진수를 옹근수와 소수부로 가르고 옹근수에 대해서는 2진수의 밑수인 2로 나누어 상과 나머지를 구하고 나머지가 있으면 1, 없으면 0을 써준다.

이와 같은 과정을 반복하여 상이 2보다 작아질 때까지 나누기를 진행한다.

다음 맨 마지막에 얻어진 상을 2진수의 맨 웃자리의 수로 하고 차례로 써준 나머지를 마지막부터 거꾸로 올라가면서 차례로 써주면 옹근수부에 대한 얻으려는 2진수가 된다.

**실례:** $(30)_{10}$을 2진수로 변환하여라.

옹근수부　　나머지

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | 30 | ……… | 0 |
| 2 | 15 | ……… | 1 |
| 2 | 7 | ……… | 1 |
| 2 | 3 | ……… | 1 |
| | 1 | | |

배렬순서 ↑

따라서 $(30)_{10}=(11110)_2$

여기서 괄호밖에 쓴 10과 2는 그 수가 어떤 진수체계로 표시되는가를 밝힌것이다. 즉 $(30)_{10}$은 10진수 30을, $(11110)_2$는 2진수 11110을 표시한것이다.

### (2) 2진수를 10진수에로의 변환

2진수의 소수점우의 제일 낮은 자리로부터 순서대로 $2^0$, $2^1$, …을 그리고 소수점아래의 제일 높은 자리로부터 $2^{-1}$, $2^{-2}$, …을 대응시키고 이 값들에 그 자리의 수를 곱한 다음 그것들을 모두 더하면 된다.

**실례:** $(1101.011)_2$을 10진수로 고쳐라.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 1. | 0 | 1 | 1 | … 2진수 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | |
| $2^3$ | $2^2$ | $2^1$ | $2^0$ | $2^{-1}$ | $2^{-2}$ | $2^{-3}$ | … 2진수의 해당한 자리의 무게 |

그러므로

$$(1101.011)_2=(2^3\times1)+(2^2\times1)+(2^1\times0)+(2^0\times1)+$$
$$+(2^{-1}\times0)+(2^{-2}\times1)+(2^{-3}\times1)=(8\times1)+(4\times1)+$$
$$+(2\times0)+(1\times1)+(0.5\times0)+(0.25\times1)+(0.125\times1)=$$
$$=(13.375)_{10}$$

### (3) 2진화10진수(BCD코드)

지금까지 본 10진수와 2진수의 호상변환은 자리수가 많아짐에 따라 매우 복잡해지므로 쓰기가 편리하지 못하다. 그러므로 콤퓨터를 비롯한 수자장치들에서는 2진화10진수를 많이 쓰고있다.

2진화10진수란 10진수의 매개 자리를 네자리의 2진수로 표시하여 배렬한 수를 말한다. 다시말하여 2진화10진수는 2진수의 네자리(4bit)를 한묶음의 수자로서 10진수에 가까운 형태로 취급할수 있도록 부호화한 수자체계를 말한다.

10진수의 한개 자리수자는 0～9까지의 수이므로 매개 수자는 네자리2진수로 표시할수 있다.

이와 같은 방법을 쓰면 아무리 큰 10진수도 간단히 2진수로 변환할수 있고 반대로 2진수도 쉽게 10진수로 변환할수 있다.

례를 들어 10진수 17은 0001 0111로 된다.

$$\underbrace{0001}_{1}\ \underbrace{0111}_{7}$$

표 4-1에 10진수 0～9까지와 2진수사이의 관계를 주었다.

**10 진수와 2 진수와의 관계** 표 4-1

| 10 진수 | 2 진수 | 10 진수 | 2 진수 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0000 | 5 | 0101 |
| 1 | 0001 | 6 | 0110 |
| 2 | 0010 | 7 | 0111 |
| 3 | 0011 | 8 | 1000 |
| 4 | 0100 | 9 | 1001 |

### 2) 2진수와 16진수사이의 호상변환

#### (1) 2진수를 16진수에로의 변환

2진수를 16진수로 변환하려면 주어진 2진수를 소수점으로부터 네자리씩 가르고 매 부분을 16진수로 표시한 다음 그것들을 련달아 쓰면 된다.

**실례**: 2진수 10110110110을 16진수로 표시하여라.

소수점으로부터 4자리씩 가르면 0101, 1011, 0110으로 된다.

이것들을 각각 16진수로 바꾸면 5, B, 6이므로

$$(10110110110)_2=(5B6)_{16}$$ 이다.

이 변환에서 주어진 2진수를 네자리씩 구분할 때 맨 웃부분 또는 소수점아래 맨 끝부분에서 네자리가 못되는 경우에는 모자라는 개수만큼 앞에(소수점아래부분에서는 뒤에) 0을 쳐주고 변환한다.

#### (2) 16진수를 2진수에로의 변환

16진수의 한자리수는 2진수의 네자리로 표시된다. 그러므로 16진수를 2진수로 변환하자면 주어진 16진수의 매개 자리를 네자리2진수로 바꾸고 그것들을 차례로 련달아 이어쓰면 된다.

**실례**: 16진수 3A7을 2진수로 변환하여라.

16진수의 매 자리수자는 네자리2진수로 변환하면 3은 0011, A는 1010, 7은 0111이므로

$(3A7)_{16}=(1110100111)_2$이다.

0～F까지의 16진수와 2진수사이의 관계를 다음의 표에 주었다.

**16진수와 2진수사이의 관계** 표 4-2

| 16진수 | 2진수 | 16진수 | 2진수 | 16진수 | 2진수 | 16진수 | 2진수 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0000 | 4 | 0100 | 8 | 1000 | C | 1100 |
| 1 | 0001 | 5 | 0101 | 9 | 1001 | D | 1101 |
| 2 | 0010 | 6 | 0110 | A | 1010 | E | 1110 |
| 3 | 0011 | 7 | 0111 | B | 1011 | F | 1111 |

## 3. 2진수의 연산

2진수의 더하기, 덜기, 곱하기에는 각각 다음의 네가지 경우가 있다.

| 더하기 | 덜기 | 곱하기 |
|---|---|---|
| $0+0=0$ | $0-0=0$ | $0\cdot 0=0$ |
| $0+1=1$ | $1-0=1$ | $0\cdot 1=0$ |
| $1+0=1$ | $1-1=0$ | $1\cdot 0=0$ |
| $1+1=10$ | $10-1=1$ | $1\cdot 1=1$ |

### 1) 2진수의 더하기

2진수의 더하기에서 어떤 자리의 수자가 1을 넘으면 자리올림이 생기여 웃자리에 1을 더한다.

**실례**: 2진수 11011과 1001을 더하여라.

| 2진수 | 10진수 |
|---|---|
| 11011 | (27) |
| +) 1001 | (9) |
| 100100 | (36) |

자리올림

실례에서 보는바와 같이 2진수의 연산에서도 10진수의 연산에서와 같이 자리올림을 한다. 즉 10진수에서 9다음에 자리올림이 생기는것처럼 2진수연산에서는 1+1일 때 자리올림 1이 생겨 웃자리수에 더해진다.

### 2) 2진수의 덜기

2진수의 덜기도 10진수에서와 같은 방법으로 할수 있는데 어떤 자리에서 던 결과가 0보다 작을 경우 우의 자리로부터 1을 내려와야 한다. 이것을 〈꾸어온다〉고 한다.

**실례:** 11001에서 1011을 덜어라.

| 2진수 | 10진수 |
|---|---|
| 11001 | (25) |
| −) 1011 | (11) |
| 1110 | (14) |

### 3) 2진수의 곱하기

2진수의 곱하기는 10진법의 곱하기와 마찬가지로 한다.

**실례:** 0110과 1010의 곱하기를 구하여라.

```
       0110
   ×)  1010
   ---------
       0000
      0110
     0000
    0110
  ----------
    0111100
```

따라서 0110×1010=0111100

### 4) 2진수의 나누기

먼저 나누는수와 나누이는수사이의 자리를 정하고 나누는수를 나누이는수에서 더는 방법으로 한다.

**실례:** 11011을 1001로 나누어라.

```
            11
      ---------
 1001)11011
      1001
     -------
        1001
        1001
     -------
           0
```

**련습문제**

1. 다음의 10진수를 2진수로 변환하여라.
   1) 51　　　　　　　2) 12.24
2. 다음의 2진수를 10진수로 변환하여라.
   1) 1101111　　　　2) 10110011.101
3. 다음의 16진수를 2진수로 변환하여라.
   1) AF8　　　　　　2) B37AD
4. 다음의 2진수를 16진수로 변환하여라.
   1) 1011001011　　2) 110111.1011101
5. 다음의 10진수를 2진화10진수로 표시하여라.
   1) 43　　　　　　　2) 13.82
6. 다음의 10진수를 2진수로 바꾸어 계산하여라.
   1) 34+17　　　　　2) 25.75
7. 다음의 16진수를 2진수로 바꾸어 계산한 다음 다시 10진수, 16진수로 변환하여라.
   1) 3AD+7F3　　　　2) 5AC7+A7D3A

## 제2절. 기본론리회로

론리회로란 1과 0값만을 기호적으로 표시하는 회로를 말한다.

수자회로에서 취급되는 량들은 1과 0으로 표시되며 이에 대응하게 신호는 높은 준위와 낮은 준위로만 표시된다. 이때 1과 0에 대응되는 신호준위들을 론리준위라고 하며 신호의 과도기간을 제외하고는 론리준위이외의 준위들은 있을수 없는것으로 본다.

론리회로는 콤퓨터와 같은 수자식전자장치들에서 많이 쓰이는 단순한 스위치회로이다.

0과 1중에 어느 수를 높은 준위에 해당하게 하는가 하는것은 구체적인 론리회로에 따라 다르다.

1을 높은 준위에, 0을 낮은 준위에 대응시킨 론리회로를 **정론리회로**라고 하며 1을 낮은 준위, 0을 높은 준위에 대응시킨 론리회로를 **부론리회로**라고 부른다.

정론리에서는 H=1, L=0으로 부론리에서는 H=0, L=1로 표시한다.

## 1. 론리더하기(OR)회로

론리더하기회로란 여러개의 입구와 하나의 출구를 가진 론리회로가운데서 어느 하나의 입구라도 1이면 출구가 1로 되며 모든 입구가 다 0일 때에만 출구가 0으로 되는 회로를 말한다.

간단한 론리회로의 경우를 례를 들어보면 두개의 입구 A, B와 한개의 출구 X를 가진 회로가 있을 때 A, B가 모두 0일 때에만 출구 X가 0으로 되고 A, B가운데서 어느 하나가 1이거나 A, B가 모두 1이면 출구 X는 1로 되는 회로이다.

이 론리더하기회로의 입구 A, B와 출구 X와의 관계를 표로 작성하면 다음과 같은 진리값표가 얻어진다.(표 4-3)

진리값표란 주어진 조건의 모든 경우와 그에 대한 결과를 표시한 표를 말한다.

론리더하기회로의 진리값표 표 4-3

| 입 구 | | 출 구 |
|---|---|---|
| A | B | X |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

론리더하기회로는 그림 4-1과 같은 기호로 표시된다. 그림에서 A, B는 입구단자이고 X는 출구단자이다.

론리회로의 원리를 그림 4-2와 같은 회로로 설명해보자.

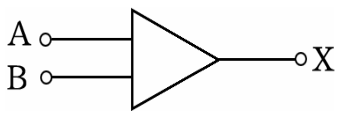


그림 4-1. 론리더하기회로의 기호표시

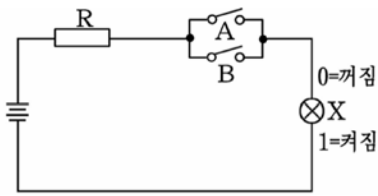


그림 4-2. 론리더하기원리회로

스위치 A와 B가 닫기는것을 〈1〉, 열리는것을 〈0〉 그리고 전구 X가 불이 켜지는것을 〈1〉, 꺼진것을 〈0〉이라고 약속하자.

- 스위치 A와 B가 다 열리면 전구에는 전류가 흐르지 못하므로 불이 켜지지 않는다. 즉 A=0, B=0일 때 X=0이다.
- 스위치 A가 닫기고 B가 열려있으면 전류는 스위치 A를 통해 흐르므로 불이 켜진다. 즉 A=1, B=0일 때 X=1이다.
- 스위치 A가 열리고 B가 닫겨있을 때에도 회로에 전류가 흐르므로 불이 켜진다. 즉 A=0, B=1일 때 X=1이다.

● 스위치 A, B가 모두 닫겨있을 때도 전류가 흘러 전구에 불이 켜진다. 즉 A=1, B=1일 때 X=1이다.

그러면 이제 반도체2극소자나 3극소자와 같은 전자요소를 써서 실제 론리더하기회로를 어떻게 만드는가를 보자.

반도체2극소자나 3극소자에서는 전류가 흐르는 상태를 열린상태 〈1〉, 흐르지 않는 상태를 닫긴상태 〈0〉이라고 한다. 스위치와는 반대이다.

### 1) 2극소자론리더하기회로

그림 4-3에 두개의 2극소자와 저항을 가지고 만든 론리더하기회로를 보여주었다.

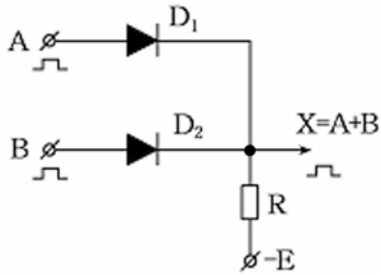



그림 4-3. 2극소자론리더하기회로

두 입구 A와 B가운데서 어느 하나라도 -E보다 전위가 높은〈+〉신호를 주면 해당한 2극소자가 열리면서 출구 X에는 〈+〉신호가 나온다.

례를 들어 입구 A에 +5V의 신호가 들어온다고 하자.

그러면 2극소자 $D_1$이 열리면서 입구 A→$D_1$→R→-E로 전류가 흐르면서 저항 R에서 전압강하를 만든다. 결과 출구 X로는 +5V의 신호가 나온다.

이때 전위가 낮은 –E상태를 론리 〈0〉, 전위가 높은 +5V상태를 론리 〈1〉에 대응시킨다면 A=1, B=0일 때 X=1로 된다.

같은 방법으로 A=0, B=1이거나 A=1, B=1인 경우도 X=1이다.

### 2) 3극소자론리더하기회로

그림 4-4에 3극소자 3개로 구성한 론리더하기회로를 보여주었다.

이 회로는 3극소자의 수전극(출구)전압이 소자가 열리면 낮아지고 닫기면 높아지는 원리를 리용한것이다.

두 입구 A와 B가운데서 어느 하나에라도 〈+〉신호가 들어오면 해당한 3극소자가 열리면서 $T_3$의 기초극전위가 낮아지므로 $T_3$은 닫긴다.

결과 $T_3$의 수전극전위는 높아진다. 즉 입구 A, B가운데서 어느 하나라도 1이면 출구 X=1이다.

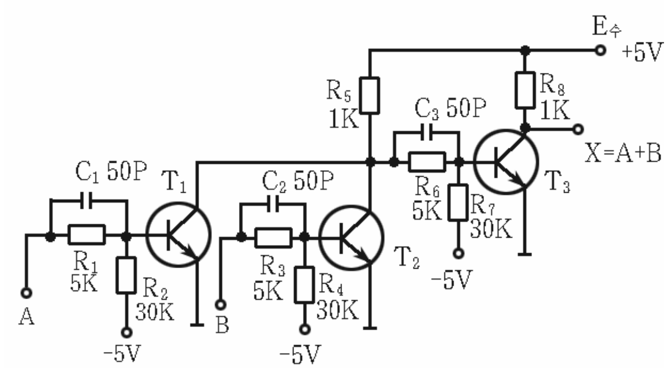



그림 4-4. 3극소자론리더하기회로

입구 A, B에 둘 다 신호가 들어오지 않는 경우에는 $T_1$과 $T_2$가 모두 닫겨있다. 이때 $T_3$의 기초극전위는 높아지므로 $T_3$은 열려 그의 출구전위는 낮은 상태로 된다. 즉 A=0, B=0일 때 X=0이다.

### 3) 론리더하기집적회로

지금 론리회로들은 거의 모두 집적화되여있다.

론리집적회로들가운데서 대표적인것은 74계렬소자들이다.

**74계렬소자**란 7400, 7402, … 등과 같이 처음 두개의 수자가 74로 표시되는 집적회로들을 말한다.

74계렬소자가운데는 론리더하기의 기능을 수행하는 소자가 있는데 실례로 7432를 들수 있다.(그림 4-5)

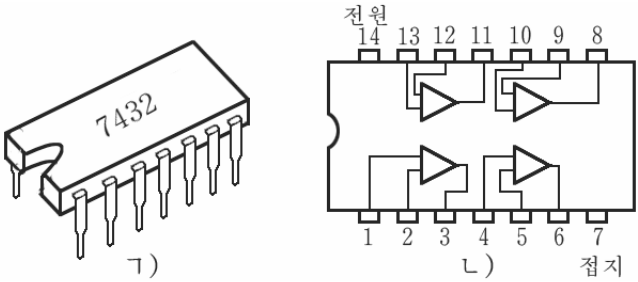



그림 4-5. 론리더하기집적회로 7432
ㄱ-겉모양, ㄴ-내부기능도

그림에서 보는바와 같이 이 소자는 2입구론리더하기회로가 4개 들어있다. 이런 소자를 **4중2입구론리더하기소자**라고 부른다.

단자 7은 접지단자로서 전원의 〈-〉단자와 련결되고 단자 14

는 +5V단자로서 전원의 〈+〉단자에 련결된다.

이 소자의 출구 0준위는 0.2V, 출구 1준위는 3.0V이다.

## 2. 론리곱하기(AND)회로

론리곱하기회로는 여러개의 입구가운데서 어느 하나라도 0이면 출구가 0이 되고 모든 입구가 다 〈1〉일 때에만 출구가 〈1〉로 되는 론리회로이다.

례를 들어 두개의 입구 A, B가 있을 때 A=1, B=1일 때에만 출구 X=1로 되고 A와 B가운데서 하나라도 0이면 출구 X=0이 되는 회로이다. 이 관계를 진리값표로 쓰면 표 4-4과 같다.

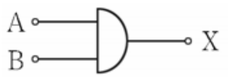


그림 4-6. 론리곱하기 회로의 기호표시

론리곱하기회로의 진리값표 표 4-4

| 입 구 | | 출 구 |
|---|---|---|
| A | B | X |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

론리곱하기회로를 회로도에 기호로 표시할 때에는 그림 4-6과 같이 반달모양의 활등쪽에 출구단자, 활줄쪽에 입구단자를 표시한다.

론리곱하기회로의 원리를 그림 4-7과 같은 회로를 리용하여 보기로 하자.

론리더하기회로에서와 같이 스위치가 닫기는것을 〈1〉, 열리는것을 〈0〉으로, 전구에 불이 켜진것을 〈1〉, 전구에 불이 꺼진것을 〈0〉으로 약속하자.

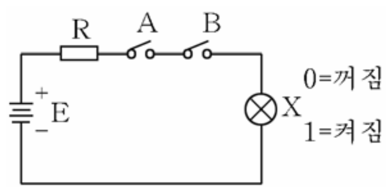


그림 4-7. 론리곱하기원리회로

먼저 스위치 A가 닫기고 B는 열린 경우를 보자.

이때는 전구로 전류가 흐르지 못하므로 불이 켜지지 못한다. 즉 A=1, B=0인 때 X=0으로 된다.

다음은 스위치 A가 열리고 B가 닫기는 경우를 보자. 이때에도 전구로 전류가 흐르지 못하므로 불이 켜지지 않는다. 즉 A=0, B=1인 때에도 X=0이다.

오직 두 스위치가 다 닫긴 경우에만 전구로 전류가 흘러 불이 켜진다. 즉 A=1, B=1인 경우에만 X=1로 된다.

### 1) 3극소자론리곱하기회로

그림 4-8은 3극소자를 써서 구성한 론리곱하기회로이다.

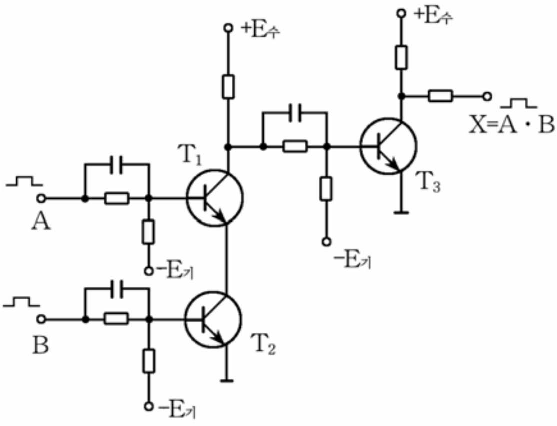



그림 4-8. 3극소자론리곱하기회로

두 입구 A, B에 다같이 신호가 없을 때 3극소자 $T_1$, $T_2$의 기초극에는 〈-〉편의전압이 걸리므로 $T_1$, $T_2$는 닫긴다. 이때 $T_1$의 수전극전위는 높은 상태로 되며 따라서 3극소자 $T_3$의 기초극전위도 높아진다. 결과 $T_3$은 열리여 그의 수전극전위도 낮아진다. 즉 A=0, B=0일 때 X=0이다.

다음은 두 입구가운데서 어느 하나에만 신호가 들어오는 경우를 보자.

이때 신호가 들어오는쪽의 3극소자가 열린다. 그러나 3극소자 $T_1$과 $T_2$가 직렬로 련결되여있기때문에 어느 하나만 열려서는 수전극전류가 흐르지 못한다. 따라서 $T_1$의 수전극전위와 $T_3$의 기초극전위는 여전히 높다. 결과 $T_3$은 열리고 그의 수전극전위는 낮은 상태에 있게 된다. 즉 A=1, B=0이거나 A=0, B=1인 때에도 X=0이다.

오직 두 입구 A와 B에 동시에 〈+〉신호가 들어올 때에만 $T_1$, $T_2$가 열려 $T_1$의 수전극전위가 낮아지고 따라서 $T_3$의 기초극전위도 낮아진다. 결과 $T_3$이 닫기고 그의 수전극전위(출구전위)가 높아진다. 즉 A=1, B=1일 때 X=1이다.

### 2) 론리곱하기집적회로

그림 4-9에 론리곱하기집적회로의 실례로서 7409를 주었다.

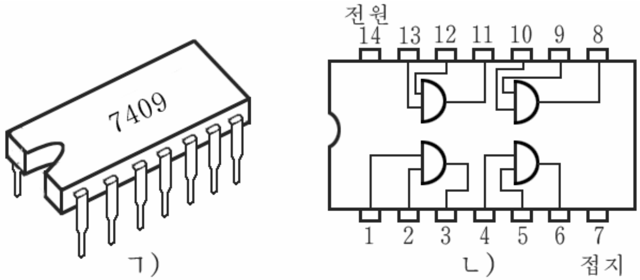



**그림 4-9. 론리곱하기집적회로 7409**
ㄱ-겉모양, ㄴ-내부기능도

이 집적회로는 4중2입구론리곱하기집적회로이다. 즉 하나의 겉통안에 4개의 론리곱하기회로가 집적되여있으며 매개 회로는 2개의 입구를 가지고있다.

그림에서 첫 론리곱하기회로의 입구단자는 1, 2이고 출구단자는 3, 두번째 론리곱하기회로의 입구단자는 4, 5이고 출구단자는 6, 세번째 론리곱하기회로의 입구단자는 12, 13이고 출구단자는 11, 네번째 론리곱하기회로의 입구단자는 9, 10이고 출구단자는 8이다. 단자 7은 접지단자로서 전원의 〈-〉와 련결되며 14는 +5V 단자로서 전원의 〈+〉와 련결된다.

## 3. 론리부정(NOT)회로

이 회로는 하나의 입구 A와 하나의 출구 X를 가지고있으며 입구 A가 1이면 출구는 0으로 되고 입구 A가 0이면 출구 X가 1로 되는 론리회로이다. 즉 입구와 출구는 항상 반대로 된다. 그러므로 입구상태가 뒤집혀서 출구에 나타난다는 의미에서 **반전기**라고도 부른다.

론리부정회로의 진리값표는 표 4-5와 같다.

회로도에서 론리부정회로는 그림 4-10의 ㄱ)와 같이 표시할수 있다.

론리부정회로의 원리를 그림 4-10의 ㄴ)를 통해서 보자.

앞에서와 같이 스위치가 닫긴것을 〈1〉, 열린것을 〈0〉으로 약속하자.

**론리부정회로의 진리값표** 표 4-5

| 입 구 | 출 구 |
|---|---|
| A | B |
| 1 | 0 |
| 0 | 1 |

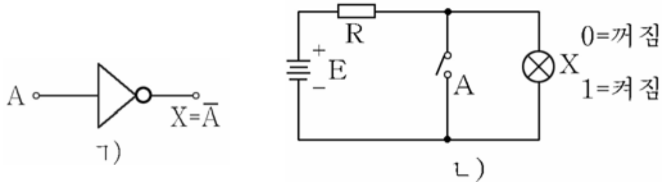



**그림 4-10. 3극소자론리곱하기회로**

먼저 스위치 A가 열려있는 경우를 보자.

이때는 전원 E로부터 전구로 전류가 흐르므로 전구에 불이 켜진다. 즉 A=0이면 X=1로 된다.

다음은 스위치 A를 닫는 경우를 보자.

스위치가 닫기면 전원으로부터 전류는 저항이 작은 스위치를 통해서만 주로 흐르고 전구로는 거의 흐르지 않는다. 결과 전구에 불이 켜지지 않는다. 즉 A=1일 때 X=0으로 된다.

### 1) 3극소자론리부정회로

그림 4-11에 3극소자를 써서 구성한 론리부정회로를 보여주었다.

입구에 신호가 없을 때 즉 A=0일 때 3극소자 T의 기초극에는 $E_2$에 의해 부편의전압이 걸리므로 소자가 닫긴 상태에 있게 된다.

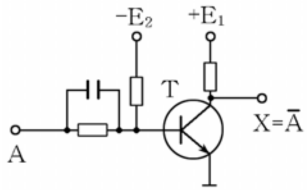



**그림 4-11. 3극소자론리부정회로**

결과 수전극전위(출구전위)는 높은 상태로 된다. 즉 A=0이면 X=1로 된다.

다음 입구에 부편의전압보다 높은 〈+〉신호가 들어오면 3극소자가 열리면서 출구전위는 낮은 상태로 된다. 즉 A=1이면 X=0으로 된다.

### 2) 론리부정집적회로

74계렬에는 론리부정집적회로가 여러개 있는데 여기서는 대표적으로 7404만을 보기로 한다.

7404는 하나의 겉통안에 6개의 론리부정회로를 집적하고있다. 이런 집적회로를 **6중반전기**라고 부른다. 그림에서 단자 7은 접지단자이고 14는 +5V단자이다. 이것들은 전원의 〈-〉와 〈+〉단자에 각각 련결된다.(그림 4-12)

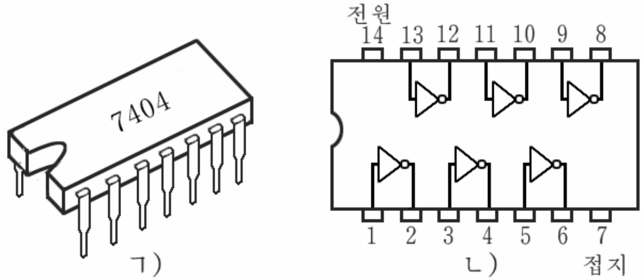



그림 4-12. 3극소자론리부정집적회로
ㄱ-겉모양, ㄴ-내부기능도

## 4. 론리더하기부정(NOR)회로

이 회로는 론리더하기회로와 반대동작을 하는 론리회로이다. 즉 모든 입구가 다같이 0일 때에만 출구가 1로 되고 나머지 경우에는 항상 출구가 0으로 되는 론리회로이다.

이 회로의 진리값표는 표 4-6와 같다.

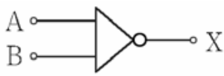



그림 4-13. 론리더하기부정회로의 기호표시

론리더하기부정회로의 진리값표 표 4-6

| 입 구 | | 출 구 |
|---|---|---|
| A | B | X |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

이 회로는 론리더하기회로의 출구에 론리부정회로를 련결한것으로 볼수 있다.

론리기호는 그림 4-13에서와 같이 론리더하기기호의 출구쪽에 부정을 의미하는 작은 동그라미를 붙여 표시한다.

론리더하기부정을 식으로 쓰면 다음과 같다.

$$X=\overline{A+B} \text{ 또는 } X=\overline{A \vee B}$$

론리더하기부정회로의 원리를 보자. (그림 4-14)

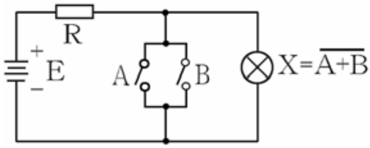



그림 4-14. 론리더하기부정회로의 원리회로

앞에서와 같이 스위치가 닫긴것을 〈1〉, 열린것을 〈0〉으로, 전구에 불이 켜진것을 〈1〉로, 불이 꺼진것을 〈0〉으로 약속하자.

먼저 두 스위치 A와 B가 둘다 열린 경우를 보면 이때에는 전구로 전류가 흐르면서 불이 켜진다. 즉 A=0, B=0인 때 X=1로 된다.(론리더하기회로에서는 이 경우 출구 X=0이다.)

다음 두 스위치가운데서 어느 하나라도 닫기면 전류는 스위치를 통해서만 흐르고 전구로는 흐르지 못한다. 따라서 전구에 불이 켜지지 못한다. 즉 입구 A, B가 둘 다 1이거나 어느 하나라도 1이면 출구 X=0으로 된다.

론리더하기부정회로도 집적회로로 생산되고있다. 여기서는 대표적으로 7402를 보자.(그림 4-15)

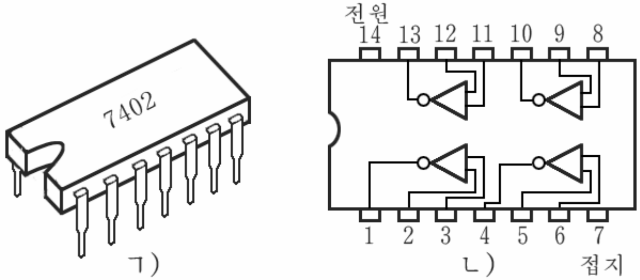



**그림 4-15. 론리더하기부정집적회로 7402**
ㄱ-겉모양, ㄴ-내부기능도

그림에서 보는것처럼 이 집적회로에는 2입구론리더하기부정회로가 4개 들어있다. 즉 4중2입구론리더하기부정집적회로이다. 단자 7은 접지단자, 14는 +5V단자이다.

## 5. 론리곱하기부정(NAND)회로

이 회로는 앞에서 본 론리곱하기회로와 반대의 론리동작을 수행하는 론리회로이다. 즉 여러개의 입구와 한개의 출구를 가지며 어느 하나라도 〈0〉이면 출구가 〈1〉로 되고 모든 입구가 다 〈1〉인 때에만 출구가 〈0〉으로 되는 회로이다.

론리곱하기부정회로는 그림 4-16과 같으며 이 회로의 진리값표는 표 4-7과 같다.

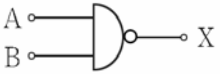



그림 4-16. 론리곱하기부정회로의 기호표시

**론리곱하기부정회로의 진리값표** 표 4-7

| 입 구 | | 출 구 |
|---|---|---|
| A | B | X |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

론리곱하기부정회로를 론리식으로 표시하면 다음과 같다.

$$X=\overline{A\cdot B} \text{ 또는 } X=\overline{A\wedge B}$$

론리곱하기부정회로는 론리곱하기회로의 출구에 론리부정회로를 련결한것과 같다.

론리곱하기부정회로의 원리를 보자.(그림 4-17)

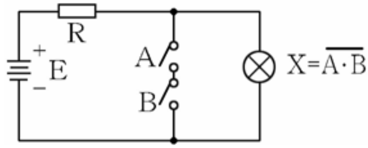


그림 4-17. 론리곱하기부정원리회로

앞의 론리회로들에서와 같이 스위치가 닫긴것을 〈1〉, 열린것을 〈0〉으로 하고 전구가 켜진것을 〈1〉, 꺼진것을 〈0〉으로 약속하자.

스위치 A는 닫고 B를 열어놓는 경우 전류는 스위치쪽으로 흐르지 못하고 전구쪽으로만 흐르므로 불이 켜진다. 즉 A=1, B=0이면 X=1이다.

우와 반대로 스위치 A는 열고 B를 닫는 경우에도 전류는 전구로만 흐르면서 불이 켜진다. 즉 A=0, B=1인 경우에도 X=1로 된다.

두 스위치가 다 열린 경우에도 전류는 전구로만 흐르므로 불이 켜진다. 즉 A=0, B=0이면 X=1이다.

다음은 두 스위치가 다 닫기는 경우를 보자.

이때에는 전류가 스위치 A와 B를 따라서만 흐르고 전구쪽으로는 흐르지 못한다. 따라서 전구에 불이 켜지지 않는다. 즉 A=1, B=1일 때 X=0으로 된다.

실제 회로들에서는 스위치대신 반도체2극소자나 3극소자 등과 같은 전자요소를 써서 회로를 구성하고있다.

다른 론리회로들에서와 같이 이 회로도 집적회로로 생산되고있다.

74계렬집적회로가운데서 론리곱하기부정집적회로로서 대표적인것은 7400이다.(그림 4-18)

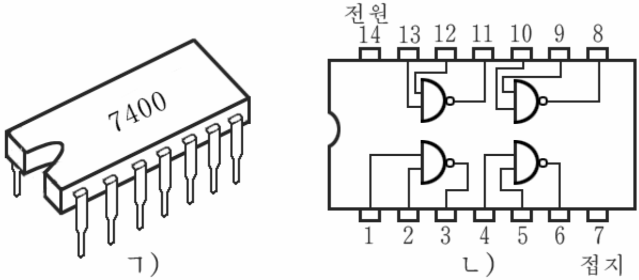


그림 4-18. 4중2입구론리곱하기부정집적회로 7400
ㄱ-겉모양, ㄴ-내부기능도

그림 4-18의 ㄴ)에서 보는것처럼 이 집적회로는 하나의 겉통안에 4개의 2입구론리곱하기부정회로를 집적하고있다. 즉 4중2입구론리곱하기부정집적회로이다

### 6. 안같기론리더하기(XOR)회로

이 회로는 론리더하기회로의 변종으로서 론리더하기회로와 다른 점은 두 입구가 다 〈1〉인 경우 출구가 〈1〉로 되는것이 아니라 〈0〉으로 되는것이다. 즉 두 입구가 같지 않을 때에만 출구가 〈1〉로 된다는 뜻에서 **안같기론리(배타적론리)더하기회로**라고 부른다.

이것을 진리값표로 보면 표 4-8과 같다.

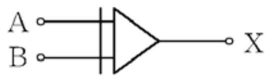



그림 4-19. 안같기론리더하기회로의 기호표시

안같기론리더하기회로의 진리값표 표 4-8

| 입 구 | | 출 구 |
|---|---|---|
| A | B | X |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

안같기론리더하기를 식으로 쓰면 다음과 같다.

$$X=A\oplus B$$

안같기론리더하기회로는 회로도에서 그림 4-19와 같이 표시한다.

그림에서 보는것처럼 론리더하기회로의 기호와 비슷하나 입구쪽에 수직선을 하나 더 그어주었다.

다음은 안같기론리더하기집적회로 74136을 보기로 하자.(그림 4-20)

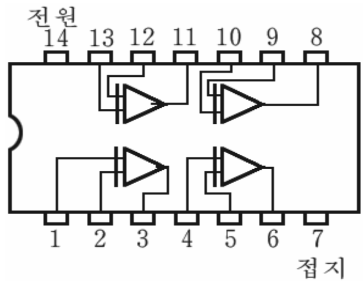



그림 4-20. 4중2입구안같기론리더하기집적회로 74136의 내부기능도

그림에서 보는것처럼 74136에는 4개의 안같기론리더하기회로가 집적되여있으며 매개 회로는 입구를 2개씩 가지고있다. 즉 4중2입구안같기론리더하기집적회로이다.

단자 7은 접지단자이고 14는 +5V단자로서 각각 전원의 〈-〉와 〈+〉단자들과 련결된다.

[참고] 한개이상의 입구와 한개의 출구를 가지며 입구의 〈1〉과 〈0〉의 조합에 의하여 출구가 결정되는 회로를 **문회로**라고도 한다. 즉 론리더하기회로를 **론리더하기문회로**, 론리곱하기회로를 **론리곱하기문회로** 그리고 론리부정회로를 **론리부정문회로**라고도 한다.

**련습문제**

1. 다음의 론리식을 가지고 론리회로를 그려라.(론리기호들을 써서 표시하여라.)
   1) $X=(A+B)\cdot(C+D)$
   2) $X=(\overline{A}\cdot\overline{B})\cdot(\overline{C}+\overline{D})$
   3) $X=(A+B)\cdot(\overline{A}+\overline{B})$
   4) $X=(A\oplus B)\cdot(C+D)$
   5) $X=(A\cdot B\cdot C\cdot D)+(C+D)$
2. 반도체2극소자를 가지고 3입구론리더하기회로, 3입구론리곱하기회로를 구성하여라.
3. 반도체3극소자를 가지고 2입구론리더하기부정회로와 2입구론리곱하기부정회로를 구성하고 그 동작원리를 설명하여라.
4. 반도체2극소자와 3극소자들을 가지고 안같기론리더하기회로를 구성하고 그 동작원리를 설명하여라.
5. 7400부터 7420까지의 집적회로들이 어떤 론리집적회로인가를 집적회로편람에서 찾아보아라.
6. 론리더하기회로와 론리곱하기부정회로의 차이는 무엇인가?
7. 론리곱하기회로와 론리더하기부정회로의 차이는 무엇인가?

## 제3절. 부진기

부진기는 수자회로에서 신호원으로 많이 쓰인다.

부진기는 구형파임풀스를 만들어내는 임풀스발진기이다.

부진기는 동작방식에 따라 자려부진기와 대기부진기로, 거기에 쓰이는 소자에 따라 반도체3극소자부진기, 집적회로부진기 등으로 나눈다.

### 1. 자려부진기

#### 1) 3극소자자려부진기

자려부진기란 전원만 넣으면 외부에서 다른 신호를 주지 않아도 출구에 련속적인 구형파를 계속 내보내는 부진기를 말한다. 즉 자려부진기는 회로자체의 특성량에 의하여 결정되는 반복주기와 지속시간을 가진 구형파를 발진하는 임풀스회로이다.

**(1) 회로구성**

3극소자들로 구성한 자려부진기의 회로는 2단으로 된 저항-용량결합증폭회로와 비슷한데 두 증폭단의 출구가 다른쪽 입구에 귀환결합을 이루고있는것이 특징이다. 즉 $T_2$의 출구는 $T_1$의 입구, $T_1$의 출구는 $T_2$의 입구와 축전기를 통하여 결합되여있다.(그림 4-21)

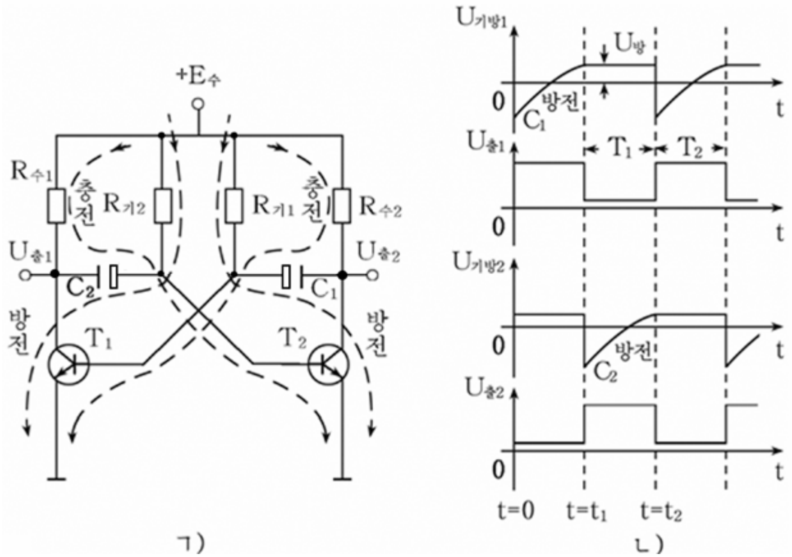



그림 4-21. 자려부진기회로(ㄱ)와 동작파형(ㄴ)

두 증폭단은 서로 대칭을 이루고있다. 즉 두 증폭소자들은 특성이 같은 npn형3극소자로 되여있으며 $R_{수1}=R_{수2}$, $R_{기1}=R_{기2}$, $C_1=C_2$이다.

회로에서 $R_{수1}$, $R_{수2}$는 $T_1$, $T_2$의 수전극부하저항이고 $R_{기1}$, $R_{기2}$는 $T_1$, $T_2$의 기초극편의저항으로서 이 저항을 통해 편의전압(전류)이 공급된다. $C_1$, $C_2$는 두 3극소자출구를 다른쪽 입구에 결합시키는 축전기로서 이 축전기의 용량은 기초극저항과 함께 발진주파수를 결정한다.

**(2) 동작원리**

전원을 넣는 첫 순간 회로가 대칭되여있으므로 두 3극소자에 걸리는 수전극전압은 같고 기-방사이의 편의전압도 같이 걸린다. 그러므로 $T_1$과 $T_2$는 동시에 열리여 수전극전류가 흐르며 축전기들은 일정한 전압까지 충전된다.

리상적인 경우는 회로가 대칭이므로 두 회로는 평형상태를 유지하게 될것이다. 즉 두 3극소자의 수전극전류는 같으며 매개 전극들에서의 전압도 같을것이다. 그러나 이러한 상태는 오래 지속되지 못하며 곧 평형이 파괴된다.

그것은 아무리 특성이 같은 3극소자와 저항, 축전기를 골라 쓴다고 해도 약간 차이가 있기때문이다. 그리하여 $T_1$의 수전극전류와 $T_2$의 수전극전류는 차이나게 된다.

만약 $T_2$의 수전극전류가 $T_1$의 수전극전류보다 약간 커졌다고 하자.

그러면 저항 $R_{수2}$에서의 전압강하가 커지므로 $T_2$의 수전극전압 $U_{수방2}$가 낮아진다. 이때 충전되였던 축전기 $C_1$은 $T_2$와 $R_{기1}$을 통해 방전된다.(그림에서는 점선으로 표시되였다.) $C_1$의 방전전류에 의하여 $R_{기1}$의 아래쪽은 〈-〉전압을 가진다. 따라서 $T_1$의 기초극편의는 낮아지고 $I_{수2}$는 작아지며 수전극전압 $U_{수방1}$은 높아진다. 이때 축전기 $C_2$는 $T_2$의 기초극을 따라 더욱 충전되며 이것은 $T_2$의 기초극전류를 더욱 크게 한다. 그러므로 $T_2$의 수전극전류 $I_{수2}$는 더 커지고($I_{수2}=\beta I_{기2}$) 수전극전압 $U_{수방2}$는 더 낮아지며 $C_1$은 계속 방전한다.

그리하여 $T_1$의 기초극편의전압이 령으로 되면 $T_1$은 완전히 닫기고 $T_2$는 포화상태로 된다. 이와 같은 과정은 전원을 넣은 후 매우 순간적으로 일어난다. 이 상태에서 $T_1$의 수전극전압 $U_{출1}\approx+E_{수}$, $T_2$의 수전극전압 $U_{출2}\approx0$이다.(t=0)

다음 축전기 $C_1$의 방전전류는 축전기가 방전함에 따라 점점 작아지며 따라서 $R_{기1}$에서의 전압강하도 점차 작아지면서 $T_1$의 기초극전압보다 높아지는 점에 이르는 순간부터 $T_1$의 기초극전압 $U_{기1}$이 점점 높아진다. 그러다가 이 전압이 $T_1$의 닫김전압보다 높아지는 점에 이르는 순간부터 $T_1$이 열리면서 수전극전류 $T_{수1}$이 흐르기 시작한다. 그러면 수전극저항 $R_{수1}$에서 전압강하가 생겨 수전극전압 $U_{수방1}$은 낮아지며 축전기 $C_2$가 방전되기 시작한다. 따라서 $R_{기2}$의 아래쪽이 〈-〉전압으로 되여 $T_2$의 기초극편의전압이 낮아진다.($C_1$이 방전하던 앞의 경우와 같다.)

그리하여 앞에서와 같은 과정을 거치면서 순식간에 $T_2$는 완전히 닫기고 $T_1$은 열려 포화상태에 이른다. 이때 $U_{출1}\approx0$, $U_{출2}\approx+E_{수}$이다.($t=t_1$)

다음부터는 $C_2$의 방전전류가 점점 작아지며 따라서 $R_{기2}$에서의 전압강하도 점점 작아지면서 $T_2$의 기초극전압 $U_{기2}$가 점점 높아진다. 그리하여 이 전압이 $T_2$의 닫김전압보다 높아지는 점에 이르는 순간($t=t_2$)부터 $t_2$가 열리기 시작하고 처음과 같은 과정이 진행된다. 이러한 동작은 계속 반복된다.

이와 같이 두 3극소자는 교대로 여닫기면서 출구에 구형임풀스를 내보낸다.

#### (3) 출구임풀스의 주기

출구임풀스의 주기 T는 3극소자가 열려있는 시간 $T_{열}$과 닫겨있는 시간 $T_{닫}$의 합과 같다.

대칭부진기에서는 $T_1=T_2$이고 시간 $T_{열}$, $T_{닫}$은 시정수 $\tau=CR_{기}$에 관계되는데 근사적으로 다음과 같이 표시된다.

$$T_{열}=T_{닫}\approx 0.69CR_{기}$$

따라서 임풀스의 주기는

$$T=T_{열}+T_{닫}\approx 1.38CR_{기}$$

여기서 $C=C_1=C_2$, $R_{기}=R_{기1}=R_{기2}$이다.

발진주파수는

$$f=\frac{1}{T}=\frac{1}{1.38CR_{기}}$$

이 식에서 알수있는것처럼 발진주기(또는 주파수)는 시정수 $CR_{기}$를 조절하여 변화시킬수 있다.

### 2) 집적회로자려부진기

#### (1) 회로구성

자려부진기는 론리집적회로를 가지고 쉽게 만들수 있다. 그림 4-22의 ㄱ)는 론리집적회로 7405에 들어있는 두개의 론리부정회로를 리용하여 만든 자려부진기회로이다.

회로구성을 보면 두개의 론리부정회로가 직렬로 련결되여있다.

그리고 첫번째 론리부정회로의 입구와 출구사이에 저항 R를 련결하고 두번째 론리부정회로의 출구와 첫번째 론리부정회로의 입구사이에 축전기 C를 련결하였다.

**(2) 동작원리**

첫순간 A점과 B점은 낮은 전위(0), N점은 높은 전위(1)에 있다고 하자. 이때 축전기 C는 N점→R→A점→C→B점을 통해 충전된다. 따라서 왼쪽극판은 〈+〉, 오른쪽 극판은 〈－〉로 충전된다. 그림 4-22의 ㄴ)에 C의 충전과정을 표시하였다.

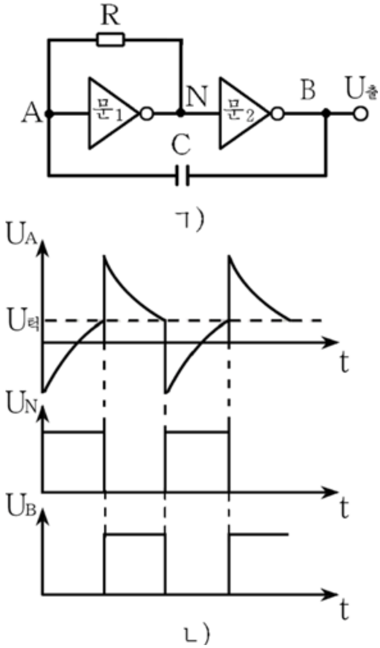


그림 4-22. 집적회로자려부진기 회로(ㄱ)와 동작파형(ㄴ)

축전기 C가 충전됨에 따라 $문_1$의 입구(A점)전압이 높아진다.이 전압이 턱전압 $U_{턱}$을 초과하면 $문_1$은 상태가 뒤집혀 A점은 높은 전위(1)에 놓이고 $문_1$의 출구이며 $문_2$의 입구점인 N점은 낮은 전위(0)에 놓인다. 따라서 $문_2$의 출구인 B점은 높은 전위(1)로 올라간다. 이때 C는 방전하는데 방전전류는 C의 왼쪽 극판→R→N점으로 흐르므로 C의 왼쪽 극판의 전위(A점의 전위)가 점점 낮아진다.

이것은 동작파형을 보고 알수 있다.

이 전압이 턱전압 $U_{턱}$아래로 떨어지면 $문_1$은 다시 본래의 상태인 A점이 낮고(0) N점이 높은(1) 상태로 절환된다.(**턱전압**이란 기준전압을 말하는데 어떤 기준전압이상이면 열리고 어떤 기준전압아래이면 닫기는 전압을 말한다.) 따라서 $문_2$도 다시 절환되면서 B점이 낮은 전위(0)로 되고 출구로는 구형임풀스 하나를 내보낸다.

이렇게 되여 첫 상태로 되돌아온다.

다음 다시 N점으로부터 R와 A점을 거쳐 C가 충전되고 우에서와 같은 과정이 반복된다.

이 부진기의 발진주기는 다음과 같이 계산한다.

$$T=2.22RC$$

부진기를 만들기 위해 론리부정집적회로 7405를 쓰는 경우에 집적회로안에 있는 6개의 반전기가운데서 두개만 쓰면 된다. 그리고 4중2입구론리곱하기부정집적회로인 7400으로 만들려면 두 입구를 함께 묶어서 그것을 한개의 입구로 하면 된다.

## 2. 대기부진기

대기부진기란 외부에서 신호가 있을 때에만 출구에서 구형임풀스를 한개씩 내보내는 회로를 말한다. 다시말하여 외부로부터 시동임풀스를 줄 때에만 다른 상태(준안정상태)에로 넘어갔다가 저절로 본래상태(안정상태)로 되돌아오는 부진기를 말한다. 이런 의미에서 대기부진기를 단안정부진기라고도 한다.

대기부진기는 신호의 지연 또는 임풀스파형을 다듬는데 흔히 리용한다.

### 1) 회로구성

문회로 두개로 구성한 대기부진기를 그림 4-23에 주었다.

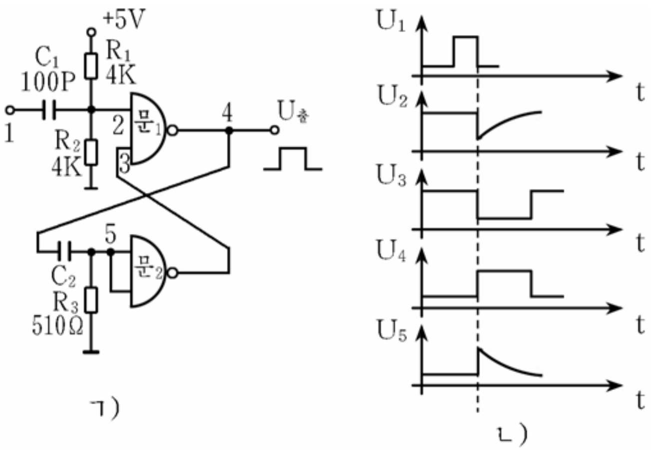



그림 4-23. 대기부진기회로(ㄱ)와 동작파형(ㄴ)

문회로중의 하나는 론리곱하기부정회로이고 다른 하나는 론리곱하기부정회로의 두 입구를 같이 묶어서 만든 론리부정회로이다.

저항 $R_1$, $R_2$는 전원전압을 분할하여 문$_1$에 턱전압을 주기 위한 요소이고 $C_1$은 $R_2$와 함께 입구에 들어오는 구형파를 N형파로 만드는 역할을 하는 동시에 교류신호에 대한 결합작용도 한다.

$C_2$와 $R_3$은 발진주파수를 결정하는 요소이다.

그림 4-23의 ㄴ)에는 신호에 따르는 매개 점에서의 동작파형을 보여주었다.

### 2) 동작원리

처음 전원을 넣으면 점 2는 높은 전위(1)에, 문$_2$의 입구(점 5)는 저항 $R_3$(510Ω)에 의하여 거의 접지전위에 놓인다. 따라서 문$_2$의 출구는 높은 전위에 있게 되는데 이것은 점 3의 전위와 같으므로 문$_1$의 입구에는 둘 다 높은 전위(1, 1)가 들어가 그의 출구(점 4)는 낮은 전위(0)로 된다. 즉 신호가 없을 때 출구(점 4)는 낮은 전위(0)에 놓여있다. 이때 $C_2$도 낮은 전위에 놓여있다.

입구 1에 〈+〉임풀스가 들어와서 임풀스의 뒤면이 끝나는 순간 점 2의 전위는 낮은 상태(0)로 된다. 따라서 문$_1$의 입구는 (0, 1)이므로 출구는 1로 된다. 이와 함께 $C_2$와 $R_3$의 련결점(점 5)에서의 전위는 높아진다. 이것이 출구임풀스의 앞면에 해당된다.

다음은 임풀스의 수평부가 어떻게 이루어지는가를 보자.

점 1에 가해지는 시동임풀스가 끝나도 점 3의 전위가 낮으면 점 4는 계속 높은 전위를 유지한다.

이렇게 하여 수평부가 이루어진다.

다음은 임풀스의 뒤면이 어떻게 이루어지는가를 보자.

시간이 지남에 따라 축전기 $C_2$는 점차 충전되여 점 5의 전위는 낮아진다. 이 전압이 턱전압에 이르면 문$_2$는 다시 열리면서 점 3이 높은 전위로 되고 점 4는 낮은 전위로 된다. 이렇게 하여 임풀스의 뒤면이 형성된다. 이때 축전기 $C_2$는 문$_1$과 저항 $R_3$을 거쳐 방전하여 처음 상태로 돌아간다.

임풀스의 길이(지속시간) $t_{임}$은 다음 식으로 결정된다.

$$t_{임} \approx 0.7RC$$

R, C를 조절하여 $t_{임}$을 변화시킬수 있다.

### 련습문제

1. 기초극저항 $R_{기}$=20㏀, 축전기의 용량 C=1 000㎊인 3극소자자려부진기의 발진주파수는 얼마인가?
2. 저항 R=2㏀, 축전기의 용량 C=0.01㎌인 집적회로자려부진기의 발진주기는 얼마인가?
3. 대기부진기의 출구임풀스의 길이가 $t_{임}$=700㎱로 되게 하려면 저항 R=500Ω일 때 C의 값은 얼마인가?

# 제4절. 방아쇠회로

방아쇠회로는 〈방아쇠〉와 비슷한 원리로 동작한다고 하여 이름이 붙여진 회로이다.

방아쇠회로란 외부에서 시동임풀스를 주면 한 안정상태로부터 다른 안정상태로 넘어가고 또 한개의 시동임풀스를 주면 초기의 안정상태로 돌아가는 회로를 말한다. 즉 입구에 신호가 작용하면 회로가 한 상태로부터 다른 상태로 갑자기 넘어가는 회로를 방아쇠회로라고 한다.

방아쇠회로는 두가지 상태가 있다.(그림 4-24)

① 2개의 출구 Q(기본출구)와 $\overline{Q}$(반대출구)를 가지고있고 Q=1, $\overline{Q}$=0 및 Q=0, $\overline{Q}$=1의 두가지의 안정상태가 있다.

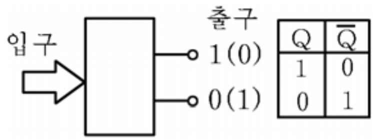


그림 4-24. 방아쇠회로의 두가지 상태

이때 Q=1, $\overline{Q}$=0인 상태를 방아쇠회로의 1상태, Q=0, $\overline{Q}$=1인 상태를 방아쇠회로의 0상태라고 한다.

② 1～5개의 입구가 있고 입구신호에 따라 두가지 상태가운데서 어느 한 상태를 선택할수 있으며 일단 어느 한 상태에 놓인 다음에는 입구신호를 없애도 그 상태를 계속 유지(기억)한다.

방아쇠회로는 이와 같은 특징으로 하여 수자회로에서 2진수의 기억, 셈세기, 주파수분할 등에 널리 리용된다.

방아쇠회로는 입구회로의 형식에 따라 크게 S-R, J-K, T, D 방아쇠회로로 나눈다.

## 1. S-R방아쇠회로

### 1) 회로구성

S-R방아쇠회로란 두개의 입구 S, R와 두개의 출구 Q, $\overline{Q}$를 가진 방아쇠회로를 말한다.

S-R방아쇠회로는 론리곱하기부정회로와 론리부정회로(반전기)로 구성할수 있다.(그림 4-25)

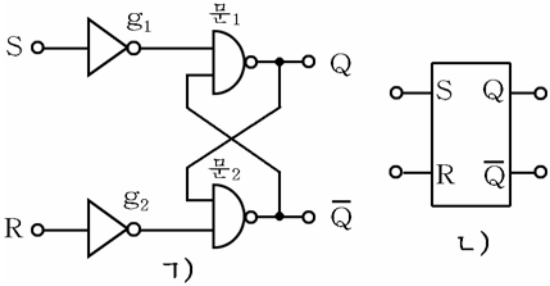



그림 4-25. S-R방아쇠회로(ㄱ)와 그 기호표시(ㄴ)

회로에서 입구 S를 **설정입구**, 입구 R를 **지우기(재설정)입구**라고 한다.

회로에서 $문_1$의 출구 Q는 $문_2$의 한쪽 입구에, $문_2$의 출구 $\overline{Q}$는 $문_1$의 한쪽 입구에 련결되여있다.

**2) 동작원리**

입구 S, R가 10, 01, 00, 11의 순서로 변할 때 출구 Q, $\overline{Q}$의 상태가 어떻게 되는가를 보자.

먼저 회로의 처음 출구상태가 Q=0, $\overline{Q}$=1이였다고 하자.

- S=1, R=0인 경우

이때 입구 S와 련결된 론리곱하기부정회로 $문_1$의 입구는 $g_1$=0, $\overline{Q}$=1므로 그의 출구 Q=1로 된다. 따라서 $문_2$의 입구는 Q=1, $g_2$=1로 되여 출구 $\overline{Q}$=0이 된다. 즉 S=1, R=0일 때 방아쇠회로의 출구 Q=1, $\overline{Q}$=0으로 된다. 방아쇠회로의 이와 같은 동작을 〈**설정**〉이라고 한다.

- S=0, R=1인 경우

입구 R와 련결된 론리곱하기부정회로 $문_2$의 입구 $g_2$=0, Q=1이므로 그의 출구 $\overline{Q}$=1로 된다. 그러면 $문_1$의 입구가 $\overline{Q}$=1, $g_1$=1로 되여 출구 Q=0으로 된다. 즉 지우기입구 R가 1이고 설정입구 S가 0이면 방아쇠회로의 출구는 Q=0, $\overline{Q}$=1로 된다. 방아쇠회로의 이와 같은 동작을 〈**지우기**〉라고 한다.

- S=0, R=0인 경우

입구 S, R에 아무런 신호도 작용하지 않으므로 출구상태는 변하지 않으며 따라서 본래의 상태를 계속 〈유지〉한다.

- S=1, R=1인 경우

설정신호와 지우기신호가 둘 다 작용하여 출구 Q, $\overline{Q}$가 모두 1로 되려고 하므로 출구상태가 어떻게 되겠는지 알수 없는 〈미정〉상태로 된다. 그러므로 S-R방아쇠회로에서는 두 입구가 모두 1이

되는것을 〈금지〉하여야 한다.

S-R방아쇠회로의 진리값표를 표 4-9에 그리고 이 회로의 동작파형을 그림 4-26에 보여주었다.

**S-R방아쇠회로의 진리값표 표 4-9**

| 번호 | 입구 | | 출구 | | 동 작 |
|---|---|---|---|---|---|
| | S | R | Q | $\overline{Q}$ | |
| ① | 1 | 0 | 1 | 0 | 설 정 |
| ② | 0 | 1 | 0 | 1 | 지우기 |
| ③ | 0 | 0 | 변하지 않음 | | 유 지 |
| ④ | 1 | 1 | 알수 없음 | | 미 정 |

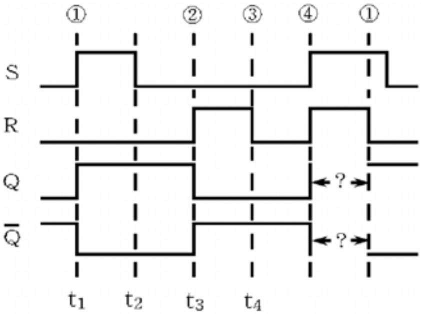



**그림 4-26. S-R방아쇠회로의 동작파형**

동작파형에서의 번호 ①, ②, ③, ④는 진리값표의 번호에 대응한다.

동작파형에서 보는바와 같이 S와 R가 0으로부터 1로 될 때 ($t_1$, $t_3$) 즉 입구임풀스의 오름면에서 방아쇠회로가 시동되면 **정극성시동**이라고 부르며 이러한 방아쇠회로를 **오름면시동** 또는 **정극성시동방아쇠회로**라고 부른다.

S와 R가 1에서 0으로 될 때 ($t_2$, $t_4$) 즉 입구임풀스의 내림면에서 시동되는 방아쇠회로도 있는데 이와 같은 시동을 **부극성시동**이라고 부르며 이러한 방아쇠회로를 **내림면시동** 또는 **부극성시동방아쇠회로**라고 부른다.

### 3) 동기식 S-R방아쇠회로

동기식 S-R 방아쇠회로란 입구 S, R 외에 동기입구 CK 를 더 가지고있는 방아쇠회로를 말한다.

앞에서 본 S-R방아쇠회로를 비동기식방아쇠회로라고 한다.

동기식 S-R방아쇠회로를 4개의 론리곱하기부정회로로 구성할 수 있다.(그림 4-27의 ㄱ)

동기입구 CK, 설정입구 S, 지우기입구 R에 신호가 작용할 때 회로의 출구상태가 어떻게 변하는가를 보자.

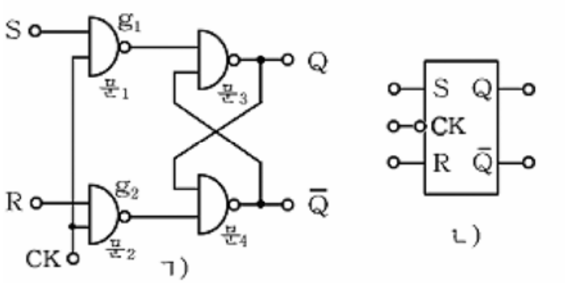



그림 4-27. 동기식 S-R방아쇠회로(ㄱ)와 그 기호표시(ㄴ)

CK=0이면 론리곱하기부정회로의 동작(어느 한 입구라도 0이면 그의 출구는 1로 된다.)으로부터 문$_1$, 문$_2$의 출구는 $g_1=g_2=1$이다. 이것은 비동기식 S-R방아쇠회로에서 S=0, R=0인 경우와 같으므로 회로의 출구상태는 변하지 않는다. 다시말하여 동기입구 CK=0일 때에는 설정신호 S와 지우기신호 R가 작용하여도 회로의 상태는 절환되지 않는다.

그러나 CK=1이면 론리곱하기부정회로 문$_1$, 문$_2$의 동작특성(한쪽 입구가 1이면 회로는 다른쪽 입구에 대하여 반전기처럼 동작한다.)으로부터 동기식 S-R방아쇠회로의 동작은 마치도 비동기식의 경우와 꼭같게 된다.(표 4-10)

**동기식 S-R방아쇠회로의 진리값표** 표 4-10

| 번호 | 입구 | | | 출구 | | 동작 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | S | R | CK | Q | $\overline{Q}$ | |
| ① | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 설 정 |
| ② | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 지우기 |
| ③ | 0 | 0 | 1 | 변하지 않음 | | 유 지 |
| ④ | 1 | 1 | 1 | 알수 없음 | | 미 정 |

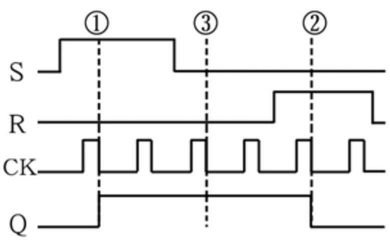



그림 4-28. 동기식S-R방아쇠회로의 동작파형

만일 동기입구 CK에 동기임풀스렬이 입구되면서 설정 및 지우기신호가 작용한다면 동기식 S-R방아쇠회로의 동작파형은 그림 4-28과 같다.

동작파형에서 알수 있는바와 같이 입구 S, R에 신호가 작용하여도 CK=0이면 회로의 상태가 변하지 않으며 오직 동기신호 CK가 들어와야만 회로가 절환된다.

이와 같이 동기식 S-R방아쇠회로에서 회로의 상태절환이 동기신호 CK에 의하여 진행되며 신호 S와 R는 회로가 절환할수 있는 조건을 지어줄뿐이다.

동작파형의 번호 ①, ②, ③은 표 4-10에서의 번호와 대응된다.

동기입구 CK는 동작파형에서 표시한것처럼 일반적으로 내림면시동을 많이 쓴다.

동기식 S-R방아쇠회로의 기호표식(그림 4-27의 ㄴ)에서 CK에 동그라미기호표식을 붙인것은 이 단자가 내림면시동단자라는것을 의미한다.

동그라미기호가 없으면 오름면시동단자라는것을 의미한다. 이와 같은 표식은 다른 방아쇠회로들에서도 같은 의미로 쓰인다.

S-R방아쇠회로의 설정상태(Q=1)를 2진수 1의 기억으로, 지우기상태(Q=0)를 2진수 0의 기억으로 보면 S-R방아쇠회로는 1bit기억기로 된다. 그러므로 S-R방아쇠회로는 1bit의 2진수를 등록해두는 회로(등록기)로 쓸수 있다.

## 2. J-K방아쇠회로

J-K방아쇠회로란 입구 J, K와 출구 Q, $\overline{Q}$를 가진 방아쇠회로를 말한다.

### 1) 회로구성

이 회로는 S-R방아쇠회로와 두개의 론리곱하기회로로 구성할수 있다.(그림 4-29)

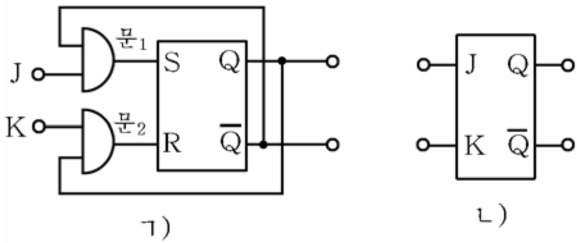



그림 4-29. J-K방아쇠회로(ㄱ)와 그 기호표시(ㄴ)

### 2) 동작원리

입구 J, K가 10, 01, 00, 11의 순서로 변할 때 회로의 상태가 어떻게 변하는가를 보자.(회로의 처음상태는 Q=0, $\overline{Q}$=1이였다고 하자.)

◆ J=1, K=0인 경우

문$_1$의 입구는 J=1, $\overline{Q}$=1이므로 그의 출구 S=1이다. 다음 문$_2$의 입구는 K=0, Q=0이므로 출구 R=0으로 된다. 이것은 S-R방아쇠회로에서 입구 S=1, R=0의 경우와 같으므로 J-K방아쇠회로의 출구는 Q=1, $\overline{Q}$=0으로 된다.

◆ J=0, K=1인 경우

문$_2$의 입구는 K=1, Q=1이므로 출구는 R=1이다. 다음 문$_1$의 입구는 J=0, $\overline{Q}$=0이 되며 출구 S=0으로 된다. 이것은 S-R방아쇠회로에서 S=0, R=1의 경우와 같으므로 J-K방아쇠회로의 출구는 Q=0, $\overline{Q}$=1로 된다.

◆ J=0, K=0인 경우

문$_1$의 출구 S=0, 문$_2$의 출구 R=0이므로 J-K방아쇠회로의 출구상태는 그대로 유지된다.

◆ J=1, K=1인 경우

문$_1$의 입구는 J=1, $\overline{Q}$=1이므로 S=1이며 문$_2$의 입구는 K=1, Q=0이므로 R=0으로 된다. 이것은 S-R방아쇠회로에서 입구가 S=1, R=0인 경우와 같으므로 J-K방아쇠회로의 출구는 Q=1, $\overline{Q}$=0으로서 우와 반대상태로 된다.

마찬가지로 현재 출구상태가 Q=1, $\overline{Q}$=0인 경우 J=1, K=1이 작용하면 회로의 상태는 반전되여 Q=0, $\overline{Q}$=1로 된다.

S-R방아쇠회로의 부족점은 S=R=1일 때 회로의 상태가 어떻게 되겠는지 알수 없는것이였다. 그러나 J-K방아쇠회로에서는 입구 J, K가 모두 1일 때 회로의 상태가 반전되는데 이것은 S-R방아쇠회로와의 본질적차이점이다.

J-K방아쇠회로의 동작을 진리값표로 표시하면 표 4-11과 같다.

**J-K방아쇠회로의 진리값표** 표 4-11

| 번호 | 입구 J | 입구 K | 출구 Q | 출구 $\overline{Q}$ | 동작 |
|---|---|---|---|---|---|
| ① | 1 | 0 | 1 | 0 | 설 정 |
| ② | 0 | 1 | 0 | 1 | 지우기 |
| ③ | 0 | 0 | 변하지 않음 | | 유 지 |
| ④ | 1 | 1 | 처음과 반대 | | 반 전 |

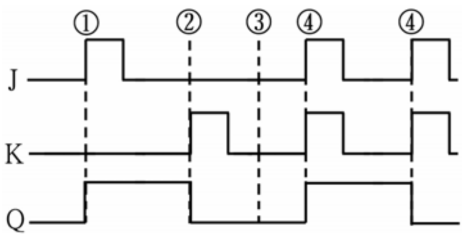


**그림 4-30. J-K방아쇠회로의 동작파형**

그림 4-30의 동작파형에서 번호 ①, ②, ③, ④는 진리값표의

번호와 대응된다.

J-K방아쇠회로의 동작은 J=K=1일 때 출구상태가 반전되는것을 제외하고는 S-R방아쇠회로의 경우와 같다.

### 3) 동기식 J-K방아쇠회로

J-K방아쇠회로란 입구 J, K외에 동기입구 CK가 더 있는 방아쇠회로를 말한다.

이 회로는 S-R방아쇠회로의 입구에 3입구론리곱하기회로 2개를 결합하여 구성할수 있다.(그림 4-31)

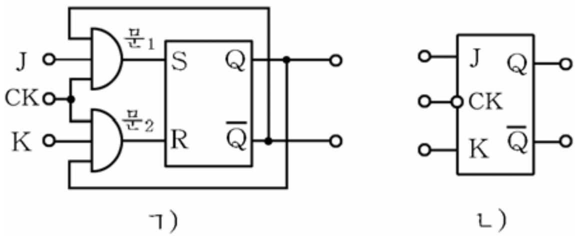



그림 4-31. 동기식 J-K방아쇠회로

동기입구 CK=0이면 론리곱하기회로의 동작(어느 한 입구라도 0이면 출구는 0)으로부터 $문_1$, $문_2$의 출구는 S=R=0으로 된다. 그러므로 CK=0이면 입구 J, K에 신호가 작용하여도 방아쇠회로의 상태는 변하지 않는다.

동기입구 CK=1일 때에는 론리곱하기회로의 동작(두 입구가운데서 한 입구가 1이면 출구값은 다른쪽 입구의 값과 같다.)으로부터 $문_1$과 $문_2$는 각각 입구신호 J, K를 그대로 출구한다. 그러므로 CK=1일 때 회로의 동작은 동기입구가 없는 J-K방아쇠회로의 경우와 같다. 이 내용을 진리값표와 동작파형으로 보면 각각 표 4-12, 그림 4-32와 같다.

**동기식 J-K방아쇠회로의 진리값표** 표 4-12

| 번호 | 입구 J | 입구 K | 입구 CK | 출구 Q | 출구 $\overline{Q}$ | 동작 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 설 정 |
| ② | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 지우기 |
| ③ | 0 | 0 | 1 | 변하지 않음 | | 유 지 |
| ④ | 1 | 1 | 1 | 처음과 반대 | | 반 전 |

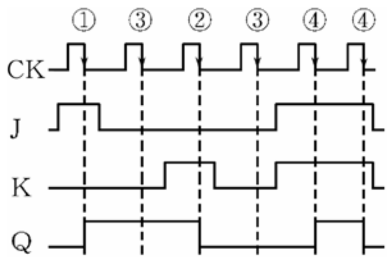



그림 4-32. 동기식 J-K방아쇠회로의 동작파형

동기식 J-K방아쇠회로는 입구신호 J, K가 작용한 상태에서 동기신호 CK가 들어와야 상태가 절환될수 있다.

그림 4-32의 동작파형에서 번호 ①, ②, ③, ④는 진리값표의 번호에 대응한다.

동기식 J-K방아쇠회로에는 입구 J, K, CK외에 우선권설정입구 PR와 우선권지우기입구 CLR를 가진 동기식 J-K방아쇠회로도 있다. 그림 4-33에 이 회로의 기호표시를 주었다.

입구 PR와 CLR는 입구 J, K, CK보다 우선적이다. 즉 J, K, CK가 어떤 상태에 있든 관계없이 PR=0이면 Q=1로 설정되며 CLR=0이면 $\overline{Q}$=0으로 지워진다.

보통 상태에서는 PR=CLR=1로 되게 한다. 그러면 이 방아쇠회로는 J-K방아쇠회로처럼 동작한다. 또한 우선권설정입구 PR와 지우기입구 CLR를 리용하면 이 방아쇠회로를 S-R방아쇠회로처럼 쓸수 있다.

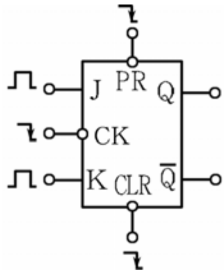


그림 4-33. 동기식 J-K방아쇠회로의 기호표시

74계렬집적회로가운데는 우선권설정 및 지우기기능을 가진 동기식 J-K방아쇠회로로서 7476이 있다.(그림 4-34)

그림에서 보는것처럼 이 집적회로안에는 두개의 J-K방아쇠회로가 들어있다.

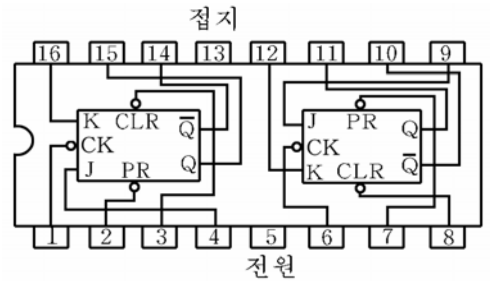


그림 4-34. J-K방아쇠집적회로 7476내부기능도

## 3. T방아쇠회로

T방아쇠회로란 하나의 입구 T와 두개의 출구 Q, $\overline{Q}$를 가진 방아쇠회로를 말한다. 즉 T방아쇠회로는 입구단자 T에 신호가 들어올 때마다 출구단자 Q와 $\overline{Q}$의 상태가 반전되는 회로이다.

T방아쇠회로는 S-R방아쇠회로와 론리곱하기회로로 만들수 있다.(그림 4-35)

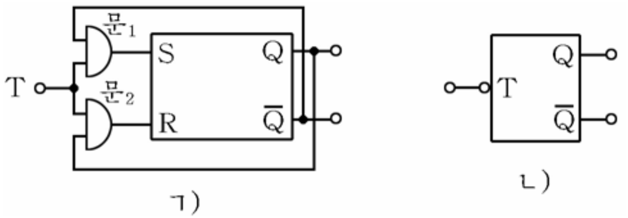



그림 4-35. T방아쇠회로(ㄱ)와 그 기호표시(ㄴ)

입구 T가 0 또는 1일 때 출구 Q, $\overline{Q}$ 가 어떻게 달라지는가를 보자.

T=0인 경우 S=0, R=0이므로 회로의 상태는 변하지 않는다.

T=1인 경우에는 처음에 Q=1, $\overline{Q}$ =0이였다면 문$_1$, 문$_2$의 출구가 S=0, R=1이므로 방아쇠회로의 출구는 Q=0, $\overline{Q}$ =1로 바뀌여진다. 만일 처음에 Q=0, $\overline{Q}$ =1이였다면 문$_1$, 문$_2$의 출구가 S=1, R=0이므로 방아쇠회로의 출구는 Q=1, $\overline{Q}$ =0으로 바뀌여진다. 다시말하여 방아쇠회로의 입구에 신호가 들어올 때마다 출구상태가 변한다.

T방아쇠회로의 동작을 진리값표로 표시하면 표 4-13과 같으며 동작파형으로 보면 그림 4-36과 같다.

**T방아쇠회로의 진리값표** 표 4-13

| 입 구 | 출 구 | 동 작 |
|---|---|---|
| T | Q | |
| 0 | 변하지 않음 | 유 지 |
| 1 | 처음과 반대 | 반 전 |

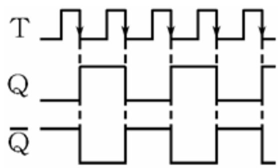



그림 4-36. T방아쇠회로의 동작파형

그림에서 알수 있는것처럼 T방아쇠회로는 입구신호의 두 주기에 대하여 출구신호의 한 주기가 대응된다. 이것은 T방아쇠회로의 동작이 그를 단위로 하여 수를 세는 동작, 입구신호의 주파수를 2로 나누는 동작이라는것을 의미한다. 이와 같은 특징으로 하여 T방아쇠회로는 주로 셈회로, 높은 주파수의 신호를 보다 낮은 주파수의 신호로 만드는 주파수분할회로 등에 리용된다.

주파수분할회로에서 낮아진 주파수는 다음과 같다.

$$f_{낮}=f_{높}/2^n$$

여기서 $f_{낮}$: 얻으려는 주파수(출구신호),

$f_{높}$: 본래의 높은 주파수(입구신호)

n: 방아쇠회로의 개수

T방아쇠회로는 동기식 J-K방아쇠회로로 쉽게 만들수 있다. J-K방아쇠회로의 입구 J와 K를 한데 묶어 높은 준위(1)로 하여 놓고 동기입구 CK를 입구 T로 쓰면 입구임풀스에 따라 회로의 상태가 바뀐다.(J-K방아쇠회로의 진리값표 참고)

## 4. D방아쇠회로

입구 D와 동기입구 CK, 출구 Q와 $\overline{Q}$를 가진 방아쇠회로를 D방아쇠회로라고 부른다.

D방아쇠회로는 J-K방아쇠회로와 반전기로 구성할수 있다.(그림 4-37)

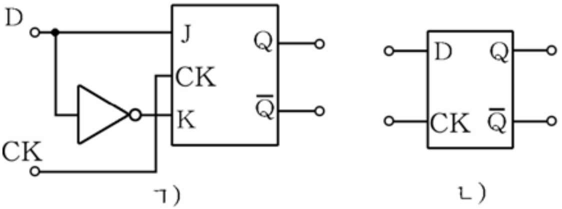



그림 4-37. D방아쇠회로(ㄱ)와 그 기호표시(ㄴ)

D=0일 때 J=0, K=1이므로 동기신호가 들어오면 출구 Q=0, $\overline{Q}$=1로 된다.

D=1일 때 J=1, K=0이므로 동기신호가 들어오면 출구 Q=1, $\overline{Q}$=0으로 된다.

이 내용을 진리값표와 파형으로 표시하면 표 4-14, 그림 4-38과 같다.

D방아쇠회로의 진리값표 표 4-14

| 입 구 | | 출 구 | |
|---|---|---|---|
| D | CK | Q | $\overline{Q}$ |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |

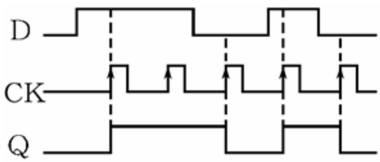



그림 4-38. D방아쇠회로의 동작파형

동작파형에서 알수 있는바와 같이 D방아쇠회로는 입구신호 D가 어떤 시간만큼 늦어져서 출구 Q에 나타난다.

이런 의미에서 D방아쇠회로를 **지연방아쇠회로**라고도 한다.

D방아쇠회로는 주로 2진수자료들을 림시로 보관해두기 위한 등록기를 구성하는데 리용된다.

D방아쇠집적회로 7474에 대하여 보자. (그림 4-39)

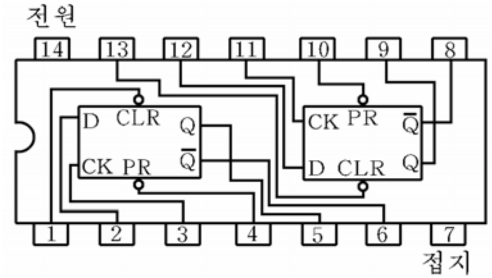



그림 4-39. D방아쇠집적회로 7474의 내부기능도

이 집적회로의 내부에는 우선권설정(PR) 및 우선권지우기(CLR)기능을 가진 D방아쇠회로가 2개 들어있다.

PR와 CLR단자의 기능은 J-K방아쇠회로에서 설명한것과 같다.

D방아쇠회로는 보통 동기입구 CK의 오름면에서 시동된다.

**련습문제**

1. S-R방아쇠회로를 0상태로 만들려면 입구 S, R에 어떤 신호를 주어야 하는가?
2. 동기식 S-R방아쇠회로에서 동기입구단자 CK의 기능을 설명하여라.
3. S-R방아쇠회로의 입구 CK, S, R에 그림 4-40과 같은 신호가 작용할 때 출구 Q, $\overline{Q}$의 변화상태를 파형으로 그려라.

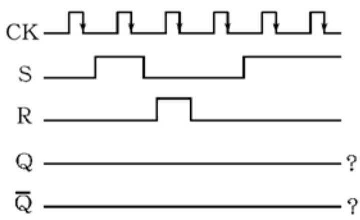



그림 4-40. S-R방아쇠회로의 동작파형

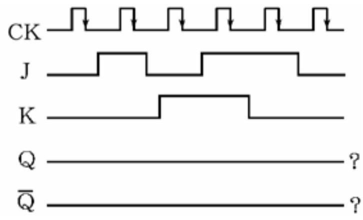



그림 4-41. J-K방아쇠회로의 동작파형

4. S-R방아쇠회로와 J-K방아쇠회로의 동작에서의 차이점을 말하여라.
5. J-K방아쇠회로의 입구 CK, J, K에 그림 4-41에서와 같은 신호가 작용할 때 출구 Q, $\overline{Q}$의 변화상태를 파형으로 그려라.
6. 집적회로 7476에서 PR, CLR단자들의 기능을 설명하여라.
7. T방아쇠회로 2개를 리용하여 주파수를 4분의 1로 떨구는 회로를 만들어라.

8. 발진주파수가 32 768Hz인 신호를 주파수가 1Hz인 신호로 만들자면 T방아쇠회로를 몇개 써야 하는가?

9. 그림 4-42에 보여준것처럼 D방아쇠회로의 입구에 신호가 작용할 때 출구 Q, $\overline{Q}$의 변화를 파형으로 그려라.

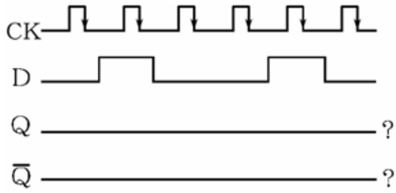



그림 4-42. D방아쇠회로의 동작파형

# 제5장. 수자회로

수자회로에는 등록기, 부호기, 해신기, 연산회로, 셈회로 등 여러가지 종류가 있다. 이것들은 앞에서 본 기본론리회로, 방아쇠회로 등의 기초회로들로 무어진다.

## 제1절. 등록기

콤퓨터와 같은 수자장치들에서는 연산을 위한 자료나 결과 등을 림시로 보관해두기 위한 기억회로들이 필요하다. 이를 위하여 등록기라는 기억회로를 리용하게 된다.

등록기란 2진수자료들을 일시적으로 기억할수도 있고 꺼낼수도 있는 방아쇠회로의 묶음을 말한다.

등록기는 기억용량이 작은 기억장치라고도 말할수 있다.

등록기는 동작방식에 따라 병렬등록기와 직렬등록기로 나눈다.

### 1. 병렬등록기

병렬등록기란 2진수자료를 병렬로 동시에 넣거나 꺼낼수 있는 등록기를 말한다.

#### 1) 회로구성

그림 5-1에 4개의 S-R방아쇠회로와 4개의 론리곱하기회로로 구성된 4bit병렬등록기를 보여주고있다.

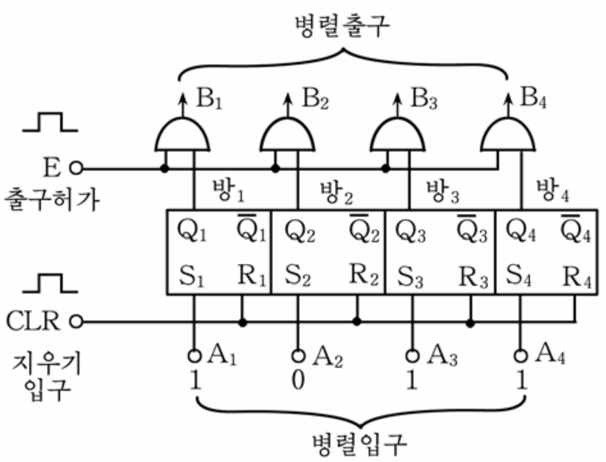



그림 5-1. 4bit병렬등록기

회로에서 $A_1$～$A_4$는 4자리씩 2진수자료를 받아들이기 위한 자료입구단자이고 $B_1$～$B_4$는 방아쇠회로에 기억된 자료를 내보내는 자료출구단자이다.

그리고 CLR는 방아쇠회로를 0상태로 만들기 위한 지우기신호입구단자이며 E는 출구허가단자로서 자료출구허가임풀스를 입구시키는데 쓴다.

### 2) 동작원리

등록기에 자료를 기억시키기 위해서는 먼저 지우기임풀스 즉 CLR=1을 넣어준다. 그러면 모든 방아쇠회로들이 다 0상태($Q_1=Q_2=Q_3=Q_4=0$)로 된다.

다음 병렬입구에 네자리2진수 실례로 $A_1=1$, $A_2=0$, $A_3=1$, $A_4=1$을 넣어준다. 그러면 방아쇠회로의 출구 $Q_1$～$Q_4$에는 4bit자료 1011이 그대로 설정(기억)된다.

등록기에 기억된 자료를 꺼내기 위해서는 출구허가단자 E에 출구허가임풀스 E=1을 입구시킨다. 그러면 론리곱하기회로의 동작(두 입구 가운데서 한 입구가 1이면 출구값은 다른 입구값에 의하여 결정된다.)에 의하여 방아쇠회로들의 출구값 $Q_1$～$Q_4$가 출구단자 $B_1$～$B_4$에 출구된다. 따라서 $B_1=1$, $B_2=0$, $B_3=1$, $B_4=1$로 된다.

이와 같은 원리에 의하여 8자리, 16자리 등의 2진수를 기억하는 등록기도 만들수 있다.

## 2. 직렬등록기

### 1) 회로구성

직렬등록기는 2진수자료를 하나씩 차례로 넣거나 꺼낼수 있도록 구성한 등록기이다.

그림 5-2에는 D방아쇠회로로 구성된 4bit직렬등록기를 보여주었다.

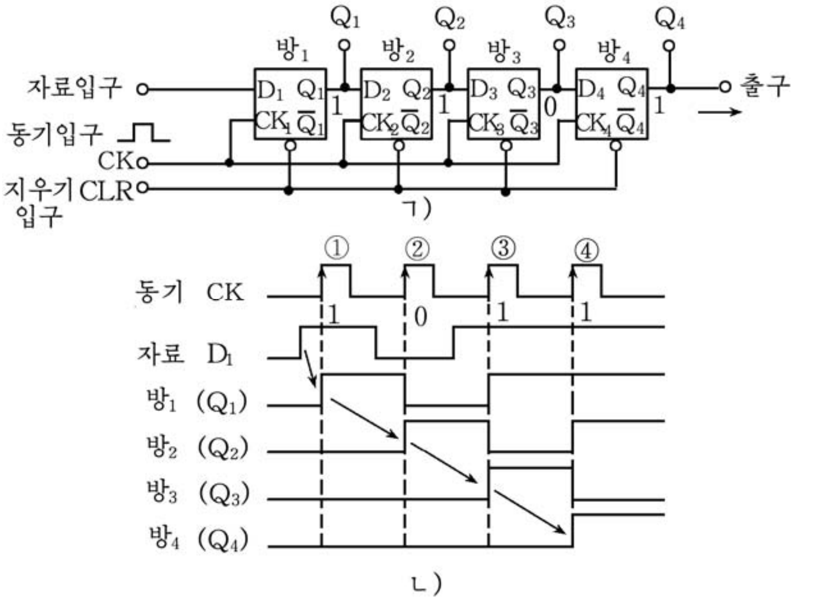



그림 5-2. 4bit직렬등록기회로(ㄱ)와 동작파형(ㄴ)

매 방아쇠회로의 출구 Q는 다음 방아쇠회로의 입구 D에 이어져있다. 등록기의 입구는 $D_1$이며 출구는 $Q_4$이다. CK는 동기임풀스단자이다.

### 2) 동작원리

회로에서 매 방아쇠회로의 입구 D의 신호는 박자임풀스 CK가 0에서 1로 변할 때 다음단으로 옮겨진다. 즉 동기임풀스 CK가 0으로 될 때마다 입구 $D_1$은 다음 입구 $D_2$에, $D_2$는 $D_3$에, $D_3$은 $D_4$에 $D_4$는 $Q_4$에 상태를 넘긴다.

실례로 직렬등록기에 2진수자료 1101을 $Q_1$=1, $Q_2$=1, $Q_3$=0, $Q_4$=1이 되게 기억시키려 한다고 하자.

먼저 지우기입구단자 CLR에 신호 0을 넣어 모든 방아쇠회로들을 0상태로 만든다.

등록기의 입구 $D_1$에 자료 1101을 제일 낮은 자리의 수부터 동기임풀스에 맞추어 하나씩 넣는다.

그러면 첫 동기임풀스(그림 5-2의 ㄴ)의 오름면에서 제일 낮은 자리의 수 1이 방$_1$에 들어간다. 이때 $Q_1=1$, $Q_2=Q_3=Q_4=0$으로 된다.

두번째 동기임풀스의 오름면에서 방$_1$은 방$_2$에 자기의 내용을 넘겨주고 자기는 두번째 자리의 수 0을 받는다. 이때 $Q_1=0$, $Q_2=1$, $Q_3=Q_4=0$으로 된다. 마찬가지로 세번째 동기임풀스가 들어오면 $Q_1=1$, $Q_2=0$, $Q_3=1$, $Q_4=0$으로 된다.

네번째 동기임풀스의 오름면에서 등록기는 $Q_1=1$, $Q_2=1$, $Q_3=0$, $Q_4=1$로 된다.

이런 직렬등록기에서는 동기임풀스에 따라 입구자료를 마치 오른쪽으로 하나씩 밀어주는것과 같이 동작하므로 직렬등록기를 **밀기등록기**라고도 부른다.

이 직렬등록기에 기억된 자료를 꺼내기 위해서는 동기입구에 4개의 동기임풀스를 주어야 한다.

그러면 출구 $Q_4$로 본래의 입구자료와 꼭같은 형태(1101)를 가진 직렬자료가 밀리워나온다.

만일 병렬출구 $Q_1$～$Q_4$를 리용하면 직렬등록기에 기억된 자료를 병렬로 읽어낼수 있다. 이와 같이 이 등록기는 직렬입구-직렬출구, 직렬입구-병렬출구의 기능을 가진다.

**련습문제**

1. J-K방아쇠회로(비동기식)를 리용하여 4bit병렬등록기의 회로를 구성하여라.
2. 8bit직렬등록기에 8bit자료를 넣었다가 꺼내는데 필요한 동기임풀스의 개수는 몇개인가?
3. 4bit직렬등록기의 내용이 0110이다. 두개의 동기임풀스가 작용하였을 때 등록기의 내용은 어떻게 되겠는가?

## 제2절. 연산회로

수자회로에서 더하기와 덜기, 곱하기와 나누기 등과 같은 연산을 진행하는 회로를 연산회로라고 부른다. 이와 같은 연산회로는 론리연산회로(론리더하기, 론리곱하기 등)와 구별하여 산수연산회로라고도 부른다.

산수연산회로에서 기본은 더하기회로이다. 그러므로 여기서는 더하기회로에 대해서만 보기로 하자.

더하기회로는 두 수의 산수적더하기를 진행하는 회로이다.

### 1. 반더하기회로

아래자리에서의 자리올림을 고려하지 않은 더하기회로를 반더하기회로라고 한다.

반더하기회로에 대한 진리값표를 작성해보자.

한자리의 2진수더하기에는 다음과 같은 네가지 경우가 있을수 있다.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 1 | …… A |
| +) 0 | +) 1 | +) 0 | +) 1 | …… B |
| 0 | 1 | 1 | 10 | …… S |
| | | | ⋮ C | |

더해지는 수를 A, 더하는 수를 B, 더한 합을 S, 올림수(한자리 높은 자리에 올려보내야 할 수)를 C라고 하면 반더하기회로에 대한 진리값표는 표 5-1과 같다.

진리값표에서 A, B, S에 주의를 돌리면 이것은 이미 앞에서 설명된 안같기론리더하기의 기능(두 수가 모두 0 또는 1일 때에는 결과가 0이고 어느 한 수라도 1이면 결과는 1이다.)과 완전히 같다. 따라서 안같기론리더하기회로에 C의 기능을 붙이면 반더하기회로가 된다.

**반더하기의 진리값표** 표 5-1

| 더해지는 수 A | 더하는 수 B | 합 S | 자리올림 수 C |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

표에서 C란을 보면 A, B가 1, 1일 때에만 1로 되여있으므로 C의 기능은 A와 B의 론리곱하기를 취하면 된다는것을 알수 있다.

이것을 실현할 회로 즉 반더하기회로는 그림 5-3과 같다.

반더하기회로는 두 2진수 A, B를 단순히 더하기만 하고 아래자리에서 올라올수 있는 자리올림수는 고려하지 않았으므로 완전한 더하기회로로 되지 못한다.

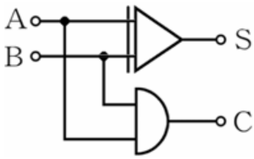


그림 5-3. 반더하기회로

## 2. 옹근더하기회로

아래자리에서 올라오는 자리올림수까지 고려한 더하기의 실례를 들어보자.

두 수 A=11, B=01의 더하기는

```
      1 1 …… A
      0 1 …… B
 +)① ①……… C
   1 0 0…… S
```

로 된다.

첫 자리의 연산에서는 자리올림수를 고려하지 않아도 된다.

그러나 둘째 자리의 연산에서는 첫 자리의 연산에서 생긴 자리올림수까지 고려하여 더하기가 진행된다.

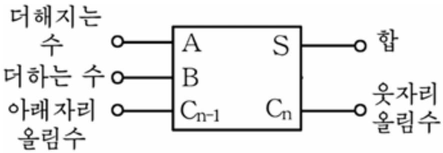


그림 5-4. 옹근더하기회로의 기호표시

아래자리로부터 올라오는 자리올림수($C_{n-1}$)를 고려한 더하기회로를 **옹근더하기회로**라고 부른다.(그림 5-4)

옹근더하기회로에 대한 진리값표는 표 5-2와 같다.

**옹근더하기회로의 진리값표** 표 5-2

| 아래자리 올림수 $C_{n-1}$ | 더해지는 수 A | 더하는 수 B | 합 S | 웃자리 올림수 $C_n$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

표에서 $C_{n-1}$=0은 아래자리로부터의 자리올림이 없을 때이며 $C_{n-1}$=1은 자리올림이 있을 때이다.

이 진리값표를 만족하는 옹근더하기회로는 그림 5-5와 같다.

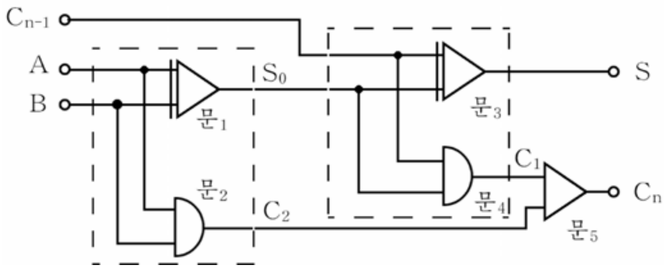



그림 5-5. 옹근더하기회로

이 회로는 반더하기회로 2개와 론리더하기회로 1개로 이루어져있다. 이 회로가 표 5-2의 진리값표를 만족하는 옹근더하기회로가 되는가를 보기로 하자.

먼저 옹근더하기회로의 입구가 $C_{n-1}$=1, A=1, B=1일 때를 보자. 이 경우에

문$_1$의 출구 $S_0$=0(문$_1$의 입구가 모두 1이므로)

문$_2$의 출구 $C_2$=1(문$_2$의 입구가 모두 1이므로)

문$_3$의 출구 S=1(문$_3$의 입구가 $C_{n-1}$=1, $S_0$=0이므로)

문$_4$의 출구 $C_1$=0(문$_4$의 입구가 $C_{n-1}$=1, $S_0$=0이므로)

문$_5$의 출구 $C_n$=1(문$_5$의 입구가 $C_1$=0, $C_2$=1이므로)

로 되여 진리값표에서의 결과(S=$C_n$=1)와 같다.

이와 같은 방법으로 따져보면 옹근더하기회로의 입구 $C_{n-1}$, A, B가 000, 001, 010, …일 때 진리값표에서와 같은 결과(S, $C_n$)를 얻을수 있다.

### 3. 여러자리더하기회로

실례로 4자리로 된 2진수의 더하기연산은

$$
\begin{array}{rl}
A_4\ A_3\ A_2\ A_1 & \cdots\ \text{더해지는 수} \\
B_4\ B_3\ B_2\ B_1 & \cdots\ \text{더하는 수} \\
+)\ \underline{C_4\ C_3\ C_2\ C_1\ C_0} & \cdots\ \text{아래자리올림수} \\
C_4\ S_4\ S_3\ S_2\ S_1 & \cdots\ \text{합}
\end{array}
$$

과 같이 진행된다.

이런 기능을 수행하는 더하기연산회로에는 직렬형과 병렬형이 있다.

### 1) 직렬더하기회로

그림 5-6에는 옹근더하기회로(∑)와 등록기로 구성된 직렬더하기회로를 보여주었다.

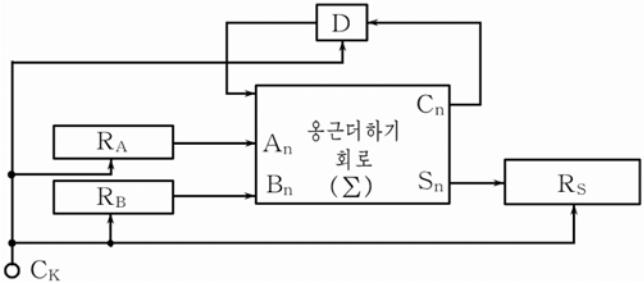



그림 5-6. 직렬더하기회로

회로에서 $R_A$는 더해지는 수등록기, $R_B$는 더하는 수등록기이고 $R_S$는 합등록기이다. 등록기 $R_A$와 $R_B$는 제일 낮은 자리가 옹근더하기회로의 $A_n$, $B_n$단자에 련결되며 $R_S$는 제일 높은 자리가 $S_n$에 련결된다. 세 등록기는 모두 동기임풀스(CK)에 의하여 등록기내용을 오른쪽으로 한자리씩 옮기는 밀기등록기로 되여있다.

지연방아쇠회로 D는 아래자리더하기연산에서 생기는 자리올림수 $C_n$을 다음자리연산시작신호(동기임풀스)에 의하여 옹근더하기회로의 자리올림수입구단자로 돌려보내는 한자리(1bit)지연회로의 역할을 한다.

직렬더하기회로의 더하기원리를 보자.

례를 들어 A=1010(10진수 10), B=0011(10진수 3)이라고 하면 첫 동기임풀스에 의하여 A의 제일 낮은 자리의 수 0과 B의 제일 낮은 자리의 수 1이 더하기회로에 들어가므로 $C_n=0$, $S_n=1$로 되면서 $R_s$의 자리에 1이 등록된다.

두번째 동기임풀스에 의하여 세 등록기의 내용은 한자리 오른쪽으로 이동한다. 더하기회로는 A의 두번째 낮은 자리의 수 1과 B의 두번째 낮은 자리의 수 1을 더한다. 이때 $S_n=0$으로 되므로 $R_S$의 제일 높은 자리에는 0이 등록되며 $C_n=1$로 된다.

세번째 동기임풀스에 의하여 세 등록기는 또다시 오른쪽으로 한자리 옮겨간다. 그러면 $A_n=0$, $B_n=0$이지만 D에 들어간 올림수 1이 작용하여 $S_n=1$로 되고 $C_n=0$으로 된다.

네번째 동기임풀스에 의하여 $A_n=1$, $B_n=0$, 올림수 0이 작용하

여 $C_n$=0, $S_n$=1로 된다. 그리하여 합등록기 $R_S$에는 1101(10진수의 13)이 등록된다.

직렬더하기회로는 회로가 간단한 우점이 있는 반면에 여러자리수를 더할 때에 더하는 시간이 길어지는 결함이 있다. 그러므로 직렬더하기회로는 계산시간이 크게 문제로 되지 않고 설비가 작아야 할 장치들에서 주로 쓴다.

### 2) 병렬더하기회로

실례로 4bit병렬더하기회로를 보기로 하자.(그림 5-7)

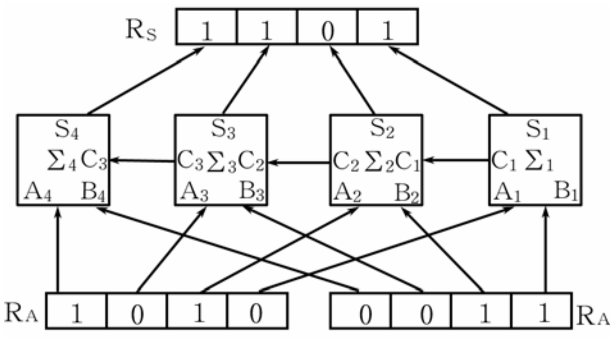



그림 5-7. 병렬더하기회로

회로는 4개의 옹근더하기회로와 더해지는 수등록기 $R_A$, 더하는 수등록기 $R_B$, 합등록기 $R_S$로 구성되였다.

등록기 $R_A$, $R_B$의 병렬출구단자들은 옹근더하기회로들의 해당한 입구단자들에 련결되며 등록기 $R_S$의 병렬입구단자들은 옹근더하기회로들의 출구와 련결된다.

더해지는 수를 등록기 $R_A$, 더하는 수를 등록기 $R_B$에 설정하면 더하기회로의 연산결과는 등록기 $R_S$에 등록된다.

실례로 $R_A$=1010(10진수의 10), $R_B$=0011(10진수의 3)의 더하기는 다음과 같이 수행된다.

옹근더하기회로 $\sum_1$에서는 $R_A$와 $R_B$의 제일 낮은 자리의 수 0, 1을 더하여 합 $S_1$=1은 $R_S$의 제일 낮은 자리에, 올림수 $C_2$=1은 $\sum_2$의 $C_1$단자에 보낸다.

옹근더하기회로 $\sum_2$에서는 $R_A$와 $R_B$의 둘째 자리의 수 1, 1과 아래자리올림수 $C_2$=0을 더하여 합 $S_2$=0은 $R_S$의 둘째 낮은 자리에,

올림수 $C_2$=1은 $\sum_3$의 $C_2$단자에 보낸다.

옹근더하기회로 $\sum_3$에서는 $R_A$와 $R_B$의 셋째 자리의 수 0, 0과 아래자리의 올림수 $C_2$=1을 더하여 합 $S_3$=1은 $R_S$의 셋째 자리에, 올림수 $C_3$=0은 $\sum_4$의 $C_3$단자에 보낸다.

옹근더하기회로 $\sum_4$에서는 $R_A$와 $R_B$의 제일 웃자리의 수 1, 0과 아래자리올림수 $C_3$=0을 더하여 합 $S_4$=1을 $R_S$의 제일 웃자리에 보낸다. 이때 $C_4$=0으로 된다.

그리하여 합등록기 $R_S$=1101(10진수의 13)로 된다.

옹근더하기집적회로 7483을 보기로 하자.(그림 5-8)

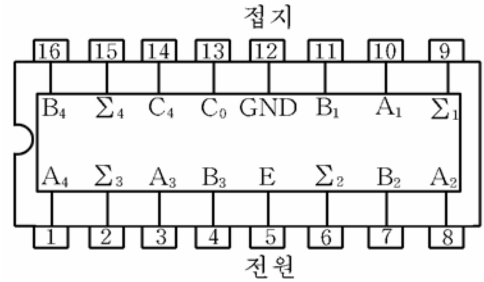



그림 5-8. 4bit옹근더하기집적회로 7483의 단자기능도

$A_1$, $A_2$, $A_3$, $A_4$ 및 $B_1$, $B_2$, $B_3$, $B_4$는 2개의 네자리2진수입구단자들이며 $C_0$은 아래자리에서 올라오는 올림수입구단자이다.

$\Sigma_1$, $\Sigma_2$, $\Sigma_3$, $\Sigma_4$는 내부에 있는 4개의 옹근더하기회로의 합출구단자이며 $C_4$는 네번째 자리올림수출구단자이다. 올림수 $C_1$, $C_2$, $C_3$의 련결은 내부에서 하였다.

**련습문제**

1. 옹근더하기회로에서 입구 A=1, B=0, $C_{n-1}$=1일 때 출구 S=0, $C_n$=1로 되는 과정을 설명하여라.
2. 직렬더하기회로에서 A=1011, B=0001이다. 2개의 동기임풀스가 작용하였을 때 합등록기 $R_S$의 내용은 어떻게 되겠는가?
3. 우의 문제에서 세번째 동기임풀스가 작용한 후 합등록기 $R_S$의 내용은 어떻게 되겠는가?
4. 병렬더하기회로에서 A=1001, B=0011일 때 합등록기 $R_S$의 내용은 어떻게 되겠는가?

## 제3절. 부호기

콤퓨터안에서는 2진수의 형태로 연산이 진행된다. 그러므로 10진수나 기호, 문자 등을 2진수로 변환하여 콤퓨터의 내부에 넣어주어야 한다.

어떤 수나 기호를 2진수로 변환하는것을 부호화(암호화)한다고 하며 이것을 실현하는 회로를 **부호기**라고 부른다.

여기서는 10진수를 2진수로 변환하는 10진부호기에 대해서만 보기로 한다.

### 1. 2극소자10진부호기

먼저 그림 5-9와 같이 2극소자를 써서 구성한 10진부호기에 대하여 보자.

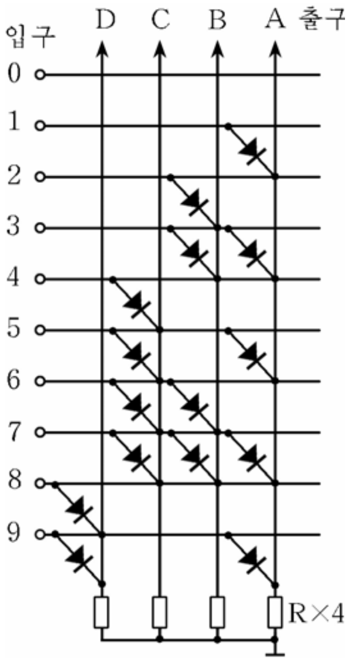


그림 5-9. 2극소자10진부호기

10진부호기의 진리값표 표 5-3

| 입구 (10진수) | 출구(2진수) D | C | B | A |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 |

이 부호기의 입구는 0~9이며 출구는 A~D이다.

실례로 부호기의 입구 〈3〉에 신호 1(+5V)이 가해지면 2극소자를 거쳐 출구 A 및 B에 신호 1이 나타나므로 출구 DCBA=0011로 된다.

다른 실례로 입구 〈5〉에 신호 1을 주면 2극소자를 거쳐 출구 A 및 C에 신호 1이 나타나므로 출구 DCBA=0101로 된다.

다른 입구들에도 신호 1을 넣어보면 표 5-3과 같은 진리값표가 얻어진다.

### 2. 론리회로를 리용한 10진부호기

론기곱하기부정회로와 반전기로 구성된 10진부호기를 그림 5-10에 보여주었다.

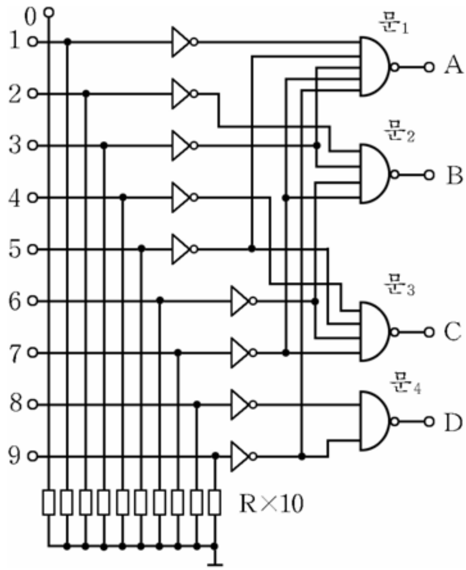



그림 5-10. 론리회로를 리용한 10진부호기

부호기의 입구 〈3〉에 신호 1을 넣으면 그것은 반전기를 거치면서 0으로 되여 문$_1$, 문$_2$의 입구로 들어간다. 따라서 문$_1$과 문$_2$의 출구는 각각 1로 된다.

한편 입구 〈3〉을 제외한 나머지 입구는 모두 0이므로 문$_3$과 문$_4$의 입구는 모두 1로 되여 그의 출구는 0으로 된다.

결국 입구〈3〉에 신호 1을 넣으면 부호기의 출구 DCBA=0011

로 된다.

다른 실례로 입구 〈5〉에 신호 1을 넣으면 이 신호는 0으로 반전되여 문$_1$과 문$_3$의 입구에 들어가므로 출구 A와 C는 1로 되며 나머지출구 B, D는 0으로 된다. 즉 입구 〈5〉에 신호를 넣으면 부호기의 출구 DCBA=0101로 된다.

이 경우에도 진리값표는 표 5-3과 같다.

다음은 10진부호기집적회로 74147을 보자.(그림 5-11)

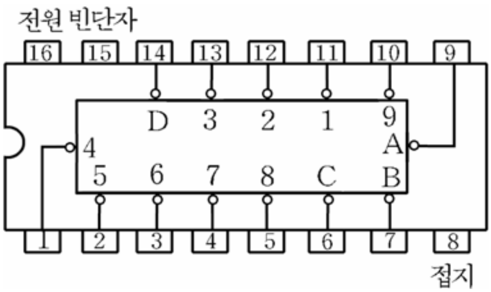



그림 5-11. 부호기집적회로 74147의 단자기능도

A, B, C, D는 2진수출구이고 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9는 10진수 입구이다.

이 집적회로는 0상태가 능동이기때문에 1과 0의 관계가 표 6-3에서와는 반대로 된다는것을 주의해야 한다.

실례로 입구 〈5〉에 신호 0을 넣으면 출구 DCBA=1010으로 된다.

### 련습문제

1. 그림 5-10의 회로에서 입구 〈7〉에 신호 1을 넣을 때 출구에 10진부호가 얻어지는 과정을 설명하여라.
2. 그림 5-10의 회로에서 출구 DCBA=0100으로 되기 위해서는 어느 입구에 어떤 준위의 신호를 주어야 하는가?

## 제4절. 해신기

2진부호(암호화된 수)를 그에 대응하는 수(원래의 수)로 변환하는 과정을 해신이라고 하며 이것을 실현하는 회로를 해신기라고 부른다. 해신은 부호화의 반대과정이다.

해신기는 입구에 넣는 2진수신호에 따라 여러개의 출구가운데서 어느 하나만을 선택한다.

해신기는 부호기와 함께 콤퓨터, 원격조종장치, 정보전송장치등에서 널리 쓰인다.

### 1. $2^n$진해신기

이것은 n자리의 입구에 대하여 $2^n$개의 출구를 가지는 해신기이다. 즉 2진수의 자리수를 n이라고 하고 출구를 m이라고 하면 다음의 관계가 성립한다.

$$m=2^n$$

례를 들어 2개의 입구를 가진 $2^n$진해신기의 출구수는 $2^2=4$이고 3개의 입구를 가진 해신기의 출구수는 $2^3=8$이다.

#### 1) 2입구4출구해신기(4진해신기)

입구에 넣는 두자리의 2진수신호에 따라 4개의 출구가운데서 어느 하나를 선택하는 해신기이다.

그림 5-12에는 론리곱하기회로와 반전기로 구성된 2입구4출구해신기의 회로를 보여주었다.

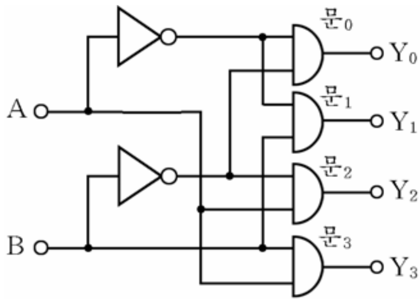


그림 5-12. 2입구4출구해신기

입구 A, B에 넣는 두자리의 2진수 00, 01, 10, 11에 따라서 어느 출구가 선택되는가를 보자.

- AB=00이면 문$_0$의 입구에만 모두 1이 들어가 $Y_0$은 1로 되고 문$_1$, 문$_2$, 문$_3$에는 0과 1이 섞여들어가므로 그것들의 출구 $Y_1$, $Y_2$, $Y_3$은 모두 0으로 된다.
- AB=01이면 문$_1$의 입구에만 모두 1이 들어가고 문$_0$과 문$_2$, 문$_3$의 입구에는 0과 1이 섞여들어간다. 따라서 문$_1$의 출구 $Y_1$=1이

고 나머지 문회로의 출구 $Y_0=Y_2=Y_3=0$이다.

- AB=10이면 문$_2$의 입구에만 모두 1이 들어가고 문$_0$, 문$_1$, 문$_3$의 입구에는 0과 1이 섞여들어간다. 그러므로 문$_2$의 출구 $Y_2=1$이고 나머지문회로의 출구 $Y_0=Y_1=Y_3=0$이다.

- AB=11이면 문$_3$의 입구에만 모두 1이 들어가 그의 출구 $Y_3=1$이고 나머지 문회로의 출구 $Y_0=Y_1=Y_2=0$으로 된다.

이 내용을 진리값표로 쓰면 표 5-4와 같다.

진리값표에서 보는바와 같이 2입구4출구해신기는 입구에 넣는 2자리의 2진수신호에 따라 4개의 출구가운데서 어느 한 출구만을 선택한다.

**2입구4출구해신기의 진리값표** 표 5-4

| 입 구 | | 출 구 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | B | $Y_0$ | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

### 2) 3입구8출구해신기(8진해신기)

이 해신기는 입구에 넣는 3자리의 2진수신호에 따라 8개의 출구가운데서 어느 하나만을 선택하는 해신기이다.

여기서는 3입구8출구해신집적회로 74138에 대해서 보기로 하자.(그림 5-13)

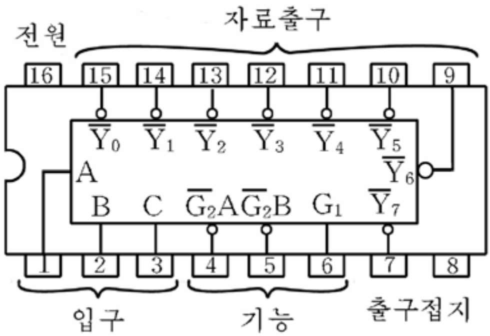



그림 5-13. 3입구8출구해신소자
74138의 단자기능도

A, B, C는 3자리의 2진수신호를 넣기 위한 입구단자이며 $\overline{Y}_0$~$\overline{Y}_7$은 출구단자이다.

이 해신기에는 해신기의 동작을 조종하기 위한 동작허용입구단자 $G_1$, $\overline{G}_{2A}$, $\overline{G}_{2B}$가 있다.

이 해신기의 동작을 진리값표로 보면 표 5-5에서와 같다.

해신기가 동작가능하게 하자면 동작허용입구단자들을 $G_1$=1, $\overline{G}_{2A}=\overline{G}_{2B}$=0으로 해놓아야 한다.

다음 해신기의 입구 CBA에 000을 넣으면 0번 출구 $\overline{Y}_0$이 선택되며 001을 넣으면 1번 출구 $\overline{Y}_1$이 선택된다.

이와 같이 이 해신기는 입구에 3자리의 2진신호를 넣는데 따라 8개의 출구가운데서 어느 한 출구를 선택한다.

표 5-5와 같은 진리값표에서 보는바와 같이 동작허용입구가 $G_1$=1, $\overline{G}_{2A}=\overline{G}_{2B}$=0과 다르면 출구가 모두 1로 되여 해신동작을 하지 못한다.

**해신집적회로 74138의 진리값표** 표 5-5

| 입 구 | | | | | | 출 구 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | B | A | $G_1$ | $\overline{G}_{2A}$ | $\overline{G}_{2B}$ | $\overline{Y}_0$ | $\overline{Y}_1$ | $\overline{Y}_2$ | $\overline{Y}_3$ | $\overline{Y}_4$ | $\overline{Y}_5$ | $\overline{Y}_6$ | $\overline{Y}_7$ |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| ∀ | ∀ | ∀ | ∀ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ∀ | ∀ | ∀ | 0 | ∀ | ∀ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

진리값표에서 표시 ∀는 1, 0가운데서 임의의 값을 가진다는것을 의미한다.

### 2. 10진해신기

10진해신기는 2진수렬을 10진수로 변환하는 해신기이다.

이 해신기는 입구에 넣는 4자리의 2진수신호에 따라 10개의 출구가운데서 어느 한 출구가 선택된다.

10진해신기의 회로는 론리곱하기부정회로와 반전기로 구성할

수 있다.(그림 5-14)

회로에서 A, B, C, D는 2진수입구단자이고 0~9는 10진수출구단자이다.

입구 ABCD에 0000, 0001, 0010, …의 신호를 넣는데 따라 어느 출구가 선택되는가를 보자.

입구 ABCD에 0000 신호를 넣으면 론리곱하기부정회로 문$_0$의 입구에만 모두 1이 들어가 그의 출구가 0이 되고 나머지 문회로들의 입구에는 0, 1이 섞여들어가 그 출구는1로 된다.

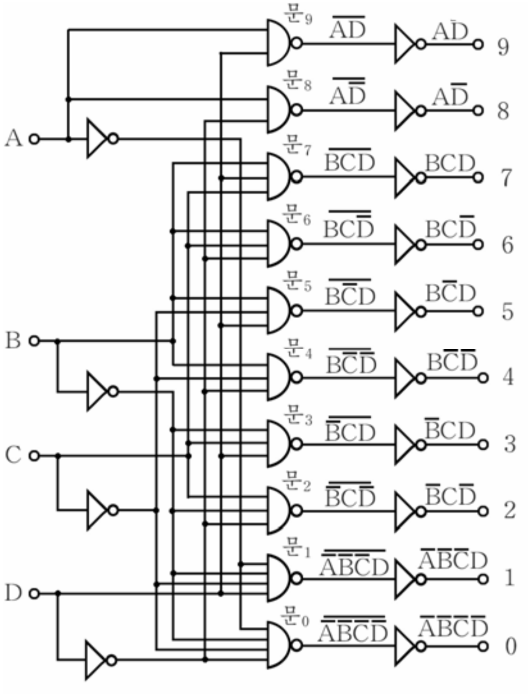



그림 5-14. 10진해신기회로

**10진해신기의 진리값표** 표 5-6

| 2진수(입 구) | | | | 10진수(출 구) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

입구 ABCD에 0001신호를 넣으면 문$_1$의 입구에만 모두 1이 들어가고 나머지 문회로들에는 0, 1이 섞여들어간다. 그러므로 문$_1$의 출구는 1로 된다.

이 신호들이 반전기를 거치면 입구신호에 따르는 해신기의 출구상태는 표 5-6과 같이 된다.

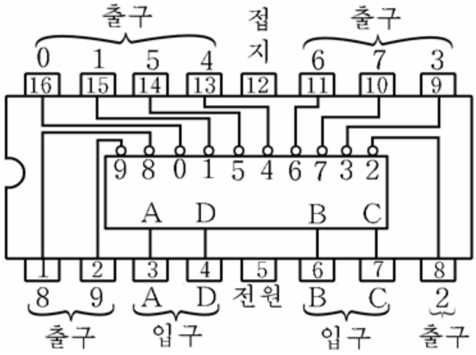


그림 5-15. 10진해신집적회로 74141의 단자기능도

그림 5-15에는 10진해신집적회로의 하나인 74141의 단자기능도를 보여주었다.

### 3. 7쪼각해신기

#### 1) 수자표시소자

수자식장치들에는 내부에서 처리된 결과를 사람의 눈으로 볼수 있도록 하기 위하여 수자표시장치를 쓴다.

소수점이 있는 7쪼각수자표시소자의 실례를 그림 5-16에 보여주고있다.

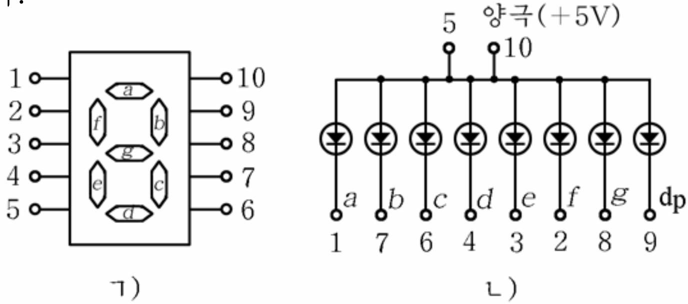


그림 5-16. 수자표시소자
ㄱ-외부구조, ㄴ-내부구조

쪼각 a, b, c, d, e, f, g로 0～9의 10진수를 표시하며 쪼각 dp는 소수점을 표시한다.

실례로 10진수 3을 표시하려면 쪼각 a, b, c, d, g만 불이 오게 하여야 한다. 이를 위하여 단자 10(양극)에 〈+〉전압을 주고 단자 1(a), 7(b), 6(c), 4(d), 8(g)은 접지(0전위)시킨다.

#### 2) 7쪼각해신소자 7447

이 소자는 7쪼각수자표시소자를 구동하기 위한 해신소자이다. 먼저 7쪼각해신회로의 원리를 보기로 하자.(그림 5-17)

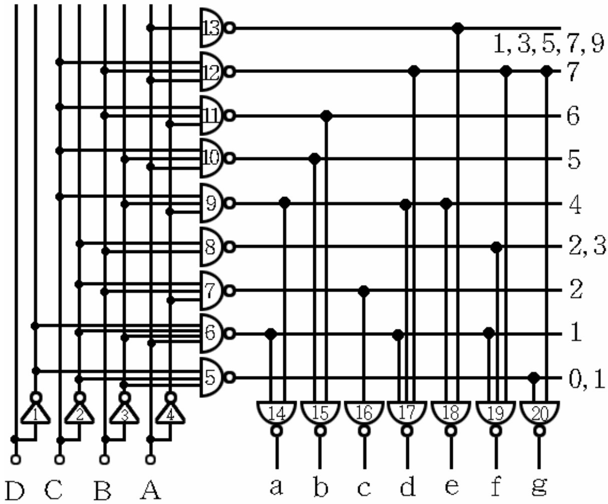



그림 5-17. 7진해신기회로

회로에는 2진수자료를 넣기 위한 4개의 입구 A, B, C, D와 쪼각구동을 위한 7개의 출구 a~g가 있다.

회로는 론리곱하기부정회로와 반전기로 이루어져있다.

먼저 입구 DCBA=0000의 경우를 보기로 하자.

이때 반전기 문$_1$~문$_4$의 출구는 모두 1이다. 그러면 론리곱하기부정회로 문$_5$~문$_{13}$에서 문$_5$의 입구에만 모두 1이 들어가 0이 되고 나머지에는 0과 1이 섞여들어가므로 그 출구는 모두 1이다. 이때 문$_5$와 문$_{12}$에서 나온 0과 1은 출구 g를 가진 론리곱하기부정회로 문$_{20}$의 입구에 들어간다. 그러므로 그의 출구 g=1로 되고 나머지 문$_{14}$~문$_{19}$의 입구에는 모두 1, 1이 들어가 출구 a~f는 0이 된다. 이것은 수자표시소자에서 쪼각 a~f(수자 0)를 직접 켤수 있는 신호로 된다.

다음으로 해신회로의 입구에 DCBA=0110(10진수 6)을 넣는 경우를 보자. 문$_5$~문$_{13}$가운데서 문$_{11}$만이 입구에 모두 1이 들어가 그 출구가 0으로 되고 나머지는 0과 1이 섞여들어가므로 그 출구는 모두 1로 된다.

론리곱하기부정회로 문$_{11}$과 문$_{10}$의 출구에서 나온 0, 1은 출구 b를 가진 론리곱하기부정회로 문$_{15}$의 입구에 들어간다. 입구에 0, 1이 들어가므로 그 출구는 b=1이 되고 나머지는 모두 1, 1이 들어가 0이 나온다. 그리하여 10진수 6을 표시하는 출구신호가 얻어진다. 이와 같은 원리로 따져보면 입구 DCBA가 0000, 0001, 0010, …일 때 출구신호는 표 5-7과 같다.

**7쪼각해신기의 진리값표**

표 5-7

| 2진수(입구) | | | | 출 구 | | | | | | | 10진수 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | C | B | A | a | b | c | d | e | f | g | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 9 |

그림 5-18에는 널리 쓰이는 7쪼각해신집적회로 7447의 단자배치를 보여주고있다.

A, B, C, D는 2진수입구단자이며 a, b, c, d, e, f, g는 출구단자이다.

LT는 표시등검사를 위한 시험신호입구단자인데 이 신호가 0이면 해신기의 모든 출구가 0이 되여 7쪼각전체가 불이 오는가를 검사할수 있다.

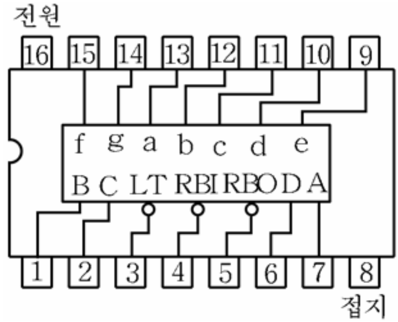


그림 5-18. 7쪼각해신소자 7447의 단자기능도

정상동작일 때는 LT=1로 놓는다.

RBI는 령점화조종입구, RBO는 령점화조종출구단자이다.

이 단자들의 기능은 세자리의 10진수를 표시할 때 그 내용이 〈 005 〉 라고 하면 웃자리에 있는 00을 표시하지 않고 〈 5 〉 만

표시할수 있게 하기 위한것이다.

입구 ABCD가 모두 령일 때 표시소자에는 〈0〉이 표시되여야 한다. 그러나 이때 령점화조종입구 RBI=0으로 해놓으면 출구 a～g가 모두 1로 되여 표시소자에는 〈 0 〉이 나타나지 않는다.(즉 점화되지 않는다.)

이때 령점화조종출구 RBO에는 0이 출구된다. 이 신호는 다른 해신집적회로의 령점화조종입구신호로 쓸수 있다.

시험조종과 령점화조종을 하지 않으려면 LT, RBI, RBO단자를 개방상태에 놓으면 된다.

그림 5-19는 7쪼각해신집적회로 7447을 리용한 세자리표시장치의 회로이다.

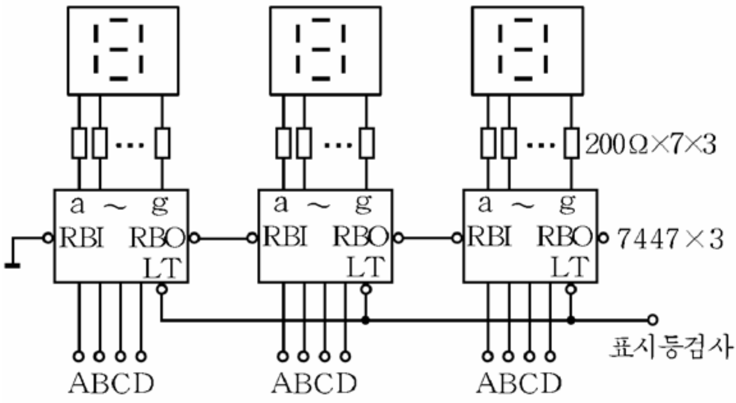



그림 5-19. 수자표시소자와 결합한 7쪼각해신기회로

해신기의 출구와 발광2극소자사이는 200～300Ω정도의 저항을 거쳐서 련결된다.

이것은 전류를 제한하여 소자를 보호하기 위해서이다.

제일 웃자리 해신소자는 령점화조종입구 RBI가 늘 0이므로 령표시는 하지 않는다.

제일 아래자리 해신소자는 RBI와 RBO를 개방시켜놓았으므로 표시내용이 〈000〉일 때도 제일 아래자리만은 〈0〉으로 표시되여 아무 표시도 없는 고장상태와 구별할수 있게 한다.

**련습문제**

1. 그림 5-12에서 보여준 2입구4출구해신회로의 출구유효준위를 0으로 되게 하려면 회로를 어떻게 구성하는가?
2. 해신집적회로 74138의 4번출구(Y4)를 선택하려면 입구 및 조종단자들에 어떤 신호를 주어야 하는가?
3. 해신집적회로 74141의 7번출구($\overline{Y}$7)를 선택하려면 입구 DCBA에 어떤 신호를 주어야 하는가?
4. 그림 5-16에 보여준 7쪼각수자표시소자에서 수자 4가 표시되자면 매 단자들에 어떤 신호를 주어야 하겠는가?
5. 7쪼각해신소자 7447에서 LT, RBI, RBO단자들의 기능을 말하여라.
6. 그림 5-19의 회로에서 표시부에 〈123〉이 나타나게 하자면 매 해신소자의 입구에 어떤 신호를 주어야 하는가?

## 제5절. 셈회로

셈회로란 임풀스의 개수를 세는 회로를 말한다. 또는 **계수회로**라고 부른다.

셈회로는 몇개의 임풀스를 셀수 있는가에 따라 8진셈회로, 10진셈회로, 16진셈회로 등으로 나눈다.

일반적으로 N개의 임풀스가 들어왔을 때 출구에 한개의 임풀스를 내보내고 처음상태로 돌아가는 셈회로를 말한다.(그림 5-20)




그림 5-20. N진셈회로

셈회로는 2진세포(방아쇠회로)들로 구성된다.

### 1. $2^n$진셈회로

**1) 2진세포(2진셈회로)**

2진세포는 2개의 임풀스만을 셀수 있는 회로로서 입구에 2개의 임풀스가 들어왔을 때 출구에 한개의 임풀스를 내보내고 처음상태로 돌아간다.

2진세포로는 하나의 T방아쇠회로가 될수 있다.(그림 5-21)

처음 Q=0상태에 있었다면 첫 임풀스의 내림면(1→0)에서 Q는 0→1로 된다. 다음 두번째 임풀스가 들어오면 그의 내림면에서 Q는 1로부터 0으로 되여 처음상태로 되돌아간다.

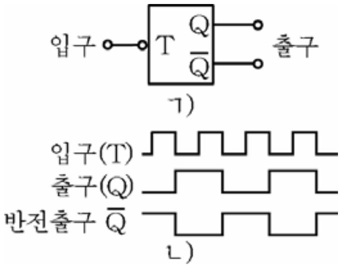



그림 5-21. 2진세포(2진셈회로)

### 2) 4진셈회로

이것은 입구에 4개의 임풀스가 들어왔을 때 출구에 한개의 임풀스를 내보내고 처음상태로 돌아가는 셈회로이다.

4진셈회로는 T방아쇠회로 2개를 직렬로 련결하여 구성할수 있다.(그림 5-22)

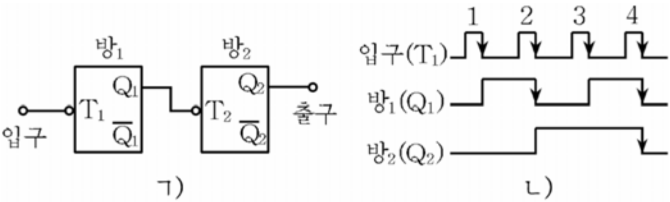



그림 5-22. 4진셈회로(ㄱ)와 그 동작파형(ㄴ)

처음에 두 방아쇠회로가 모두 0상태($Q_1$=$Q_2$=0)에 있었다고 하자.

- 첫 임풀스(1)가 들어오면 그 임풀스의 내림면에서 방$_1$이 절환되여 그의 출구 $Q_1$은 0에서 1로 된다.

이 변화는 방$_2$를 절환시키지 못하기때문에 방$_2$의 출구 $Q_2$는 여전히 0이다.($Q_1Q_2$=01)

- 두번째 임풀스(2)가 들어오면 그 임풀스의 내림면에서 방$_1$이 절환되여 그의 출구 $Q_1$은 1에서 0으로 절환된다.

이 변화는 방$_2$를 절환시키므로 그의 출구 $Q_2$는 0에서 1로 된다.($Q_2Q_1$=10)

- 세번째 임풀스(3)가 들어오면 방$_1$은 절환되여 그의 출구 $Q_1$은 0에서 1로 되지만 방$_2$는 절환되지 않는다.($Q_2Q_1$=11)

- 네번째 임풀스(4)가 들어오면 방$_1$이 절환되여 $Q_1$은 1에서 0으로 된다. 이 변화는 방$_2$를 절환시켜 그의 출구 $Q_2$는 1에서 0으

로 된다. ($Q_2Q_1$=00)

그리하여 입구에 4개의 임풀스가 들어오는 동안 셈회로의 출구에는 1개의 임풀스가 나온다.

이 내용을 진리값표로 표시하면 표 5-8과 같다.

**4진셈회로의 진리값표** 표 5-8

| 임풀스의 개수 | 셈회로의 상태 | |
|---|---|---|
| | 방$_2$($Q_2$) | 방$_1$($Q_1$) |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 2 | 1 | 0 |
| 3 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 0 |

### 3) 8진셈회로

이 셈회로는 8개의 임풀스를 세는 회로인데 입구에 8개의 임풀스가 들어왔을 때 출구에 한개의 임풀스를 내보내고 처음상태로 돌아간다.

8진셈회로는 J-K방아쇠회로 3개로 구성할수 있다. (그림 5-23)

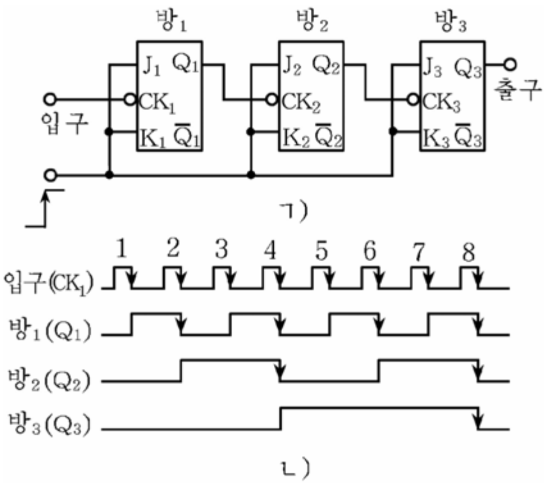



그림 5-23. 8진셈회로(ㄱ)와 그 동작파형(ㄴ)

회로에서 J=K=1일 때 매 방아쇠회로의 동작은 T방아쇠회로의 경우와 꼭 같다. 즉 J=K=1일 때 동기입구 CK에 임풀스가 들어오면 그 임풀스의 내림면에서 방아쇠회로는 절환된다. (J-K진리값표 참고할것)

8진셈회로의 동작파형을 보면 네번째 임풀스가 들어올 때까지 방$_1$, 방$_2$의 동작은 4진셈회로의 경우와 같다.

네번째 임풀스가 들어왔을 때 방$_2$가 1→0변화에 의하여 방$_3$의 출구 $Q_3$은 0→1로 된다. 이때 셈회로의 상태는 $Q_3Q_2Q_1$=100(10진수의

4)으로 된다.

다섯번째 임풀스가 들어오면 $Q_1$은 0→1로 되여 $Q_3Q_2Q_1$=101 (10진수의 5)로 된다.

여섯번째 임풀스가 들어오면 $Q_1$은 1→0, $Q_2$은 0→1로 되므로 $Q_3Q_2Q_1$=110(10진수의 6)이 된다.

일곱번째 임풀스가 들어오면 $Q_1$은 0→1 따라서 $Q_3Q_2Q_1$=111 (10진수의 7)이 된다. 여덟번째 임풀스가 들어오면 $Q_1$,$Q_2$, $Q_3$이 모두 0으로 된다. 따라서 $Q_3Q_2Q_1$=000으로 된다.(10진수의 0)

이상의 내용을 진리값표로 표시하면 표 5-9와 같다.

**8진셈회로의 진리값표** 표 5-9

| 임풀스의 개수 | 셈회로의 상태 | | |
|---|---|---|---|
| | 방$_3$($Q_3$) | 방$_2$($Q_2$) | 방$_1$($Q_1$) |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 0 | 0 | 0 |

#### 4) 셈회로의 셈용량

셈회로가 최대로 몇개의 임풀스를 셀수 있는가를 나타내기 위하여 셈용량이라는 말을 쓴다.

2진세포(방아쇠회로) 2개로 된 셈회로는 8개의 임풀스를 셀수 있다.

일반적으로 셈용량과 2진세포의 개수사이에는 다음의 관계가 있다.

$$N=\underbrace{2\times 2\times \cdots \times 2}_{n}=2^n$$

여기서 N-셈용량, n-2진세포의 개수

이와 같은 원리로부터 방아쇠회로 4개를 직렬련결하면 16진셈회로, 5개를 련결하면 32진셈회로를 만들수 있다.

그림 5-24에는 8진 및 16진셈회로집적회로 7493의 내부구성과 단자배치를 보여주었다.

집적회로의 내부는 4개의 J-K방아쇠회로로 되여있는데 첫 방아쇠회로를 다음 단과 분리시켜놓았다. 그러므로 16진셈집적회로로 쓸 때에는 단자 12와 1을 밖에서 련결해주어야 한다.

단자 14와 1은 각각 2진입구, 8진입구단자들이다.

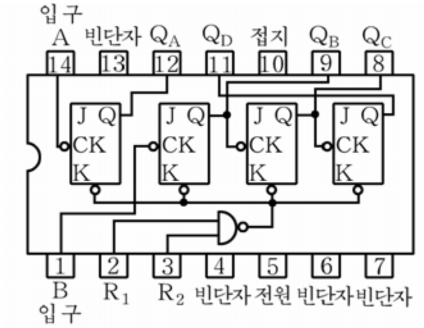



그림 5-24. 집적회로 7493의 내부구성도

7493은 매 방아쇠회로의 출구가 밖에 나와있으므로 $2^1$(2진), $2^2$(4진), $2^3$(8진), $2^4$(16진)셈회로가운데서 어느 한 셈회로로 리용할수 있다. 단자 2($R_1$)와 3($R_2$)은 지우기단자들인데 모두 높은 준위(1)의 신호를 주면 셈회로의 모든 출구가 0으로 된다. 셈동작을 시킬 때에는 단자 2와 3가운데서 어느 하나라도 낮은 준위(0)에 놓이게 하여야 한다.

## 2. 10진셈회로

### 1) 회로구성

10진셈회로는 입구에 10개의 임풀스가 들어갈 때 출구에 1개의 임풀스를 내보내고 처음상태로 돌아가는 셈회로이다.

10진셈회로를 어떻게 구성하는가를 보자.

2진세포 3개를 쓰면 $2^3$=8개밖에 세지 못하고 4개를 쓰면 $2^4$=16 즉 16진셈회로가 된다. 때문에 2진세포 4개를 쓰되 10진셈회로를 만들기 위하여 출구신호의 일부를 입구쪽으로 되돌리는 귀환을 리용한다.(그림 5-25)

회로는 3개의 J-K방아쇠회로와 1개의 S-R방아쇠회로로 구성하였다.

방$_4$의 반대출구 $\overline{Q}_4$는 방$_2$의 입구 $J_2$에로 귀환시켰다.

이것은 $\overline{Q}_4$로 방$_2$의 절환조건을 조종하기 위한것인데 $\overline{Q}_4$=0일 때는 방$_2$가 1로 절환될수 없을것이다.

방$_4$의 출구 $Q_4$는 지우기입구 R에로 귀환시키고 방$_1$의 출구 $Q_1$은 방$_4$의 동기입구 $CK_4$에 ,방$_2$의 출구 $Q_2$와 방$_3$의 출구 $Q_3$은 론리곱하기회로를 거쳐 방$_4$의 설정입구 S에 련결하였다.

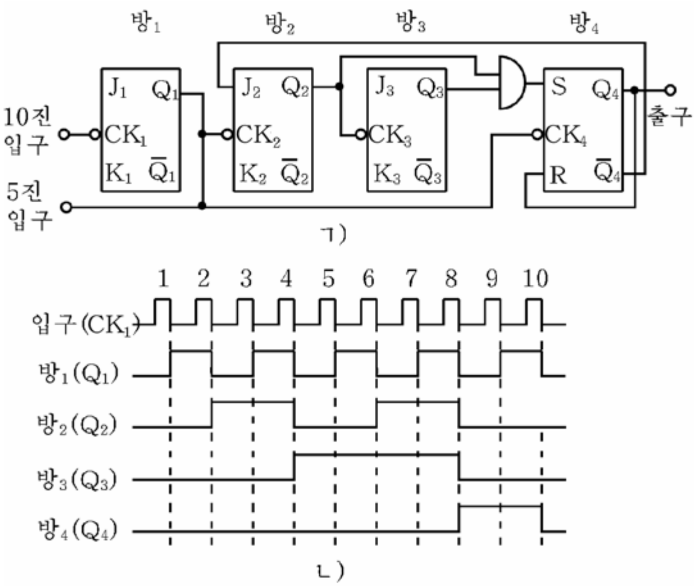



그림 5-25. 귀환을 쓴 10진셈회로(ㄱ)와 그 동작파형(ㄴ)

그러므로 방$_4$가 1로 설정될 조건은 $Q_2=Q_3=1$(따라서 S=1)인 때 $Q_1$이 1로부터 0으로 변하는것이다.

### 2) 동작원리

10진셈회로의 동작과정을 동작파형에 기초하여 보기로 하자.

여덟번째 임풀스가 들어오기전에 셈회로의 상태는 $Q_4Q_3Q_2Q_1$=0111(10진수 7)로서 이때까지의 동작은 8진셈회로의 경우와 같다.

여덟번째 임풀스가 들어오면 $Q_1$은 1→0, $Q_2$은 1→0, $Q_3$은 1→0으로 될것이다. 이때 $Q_4$는 0→1로 되는데 이것은 여덟번째 임풀스가 들어오기전에 S=1($Q_2=Q_3=0$이므로)이고 여덟번째 임풀스가 들어오면 $Q_1$의 1→0의 변화가 방$_4$의 동기입구 $CK_4$에 작용하기 때문이다.

결국 여덟번째 임풀스가 들어오면 셈회로의 상태는 $Q_4Q_3Q_2Q_1$=1000(10진수의 8)으로 된다.

아홉번째 임풀스가 들어오면 $Q_1$이 0→1로 될뿐 다른 변화는 없다. 결과 $Q_4Q_3Q_2Q_1$=1001(10진수의 9)로 된다.

열번째 임풀스가 들어오면 $Q_1$은 1→0으로 된다. 그런데 $J_2(\overline{Q_4})$이므로 방$_2$는 절환될수 없다. 따라서 방$_3$도 절환되지 못한다.

방$_4$는 절환된 후 $Q_4$는 1→0으로 된다. 그것은 S=0($Q_2$=$Q_2$=0이므로), R($Q_4$)=1의 상태에 $Q_1$의 1→0신호가 동기입구 $CK_4$에 작용하기때문이다.

결국 열번째 임풀스가 들어오면 모든 방아쇠회로들은 모두 0 상태로 된다.($Q_4Q_3Q_2Q_1$=0000)

이상의 동작과정을 진리값표로 표시하면 표 5-10와 같다.

**10진셈회로의 진리값표** 표 5-10

| 임풀스의 개수 | 셈회로의 상태 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 방$_4$($Q_4$) | 방$_3$($Q_3$) | 방$_2$($Q_2$) | 방$_1$($Q_1$) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |

그림 5-25에서 방$_2$, 방$_3$, 방$_4$는 5진셈회로를 이룬다.

이 그림의 동작파형에서 방$_1$의 출구신호를 5진셈회로의 입구에 넣어 세려는 임풀스로 바꾸어 생각하면 방$_2$, 방$_3$, 방$_4$는 5진셈회로로 동작한다는것을 알수 있다.

10진셈회로는 5진셈회로의 입구에 2진셈회로(2진세포)를 직렬련결한것이다.

만일 5진셈회로의 입구에 2진셈회로 2개(4진셈회로)를 련결하면 2×2×5=20진셈회로가 된다.

귀환을 효과적으로 리용하면 임의의 n진셈회로도 구성할수 있다.

### 3) 10진셈회로집적회로 7490

그림 5-26에 10진셈회로집적회로 7490의 내부구성과 단자배치를, 표 5-11에는 그의 진리값표를 보여주었다.

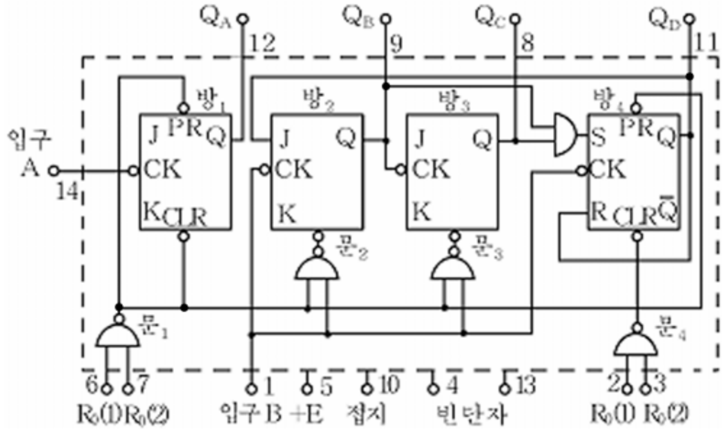



그림 5-26. 10진셈회로집적회로 7490의 내부구성도

**10진셈회로집적회로 7490의 진리값표** 표 5-11

| 입구임풀스의 개수 | 출 구 | | | | 설정 및 지우기입구 | | | | 출 구 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D | C | B | A | $R_0(1)$ | $R_0(2)$ | $R_9(1)$ | $R_9(2)$ | D | C | B | A |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | ∀ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | ∀ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | ∀ | ∀ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | ∀ | 0 | ∀ | 0 | 계 수 | | | |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | ∀ | 0 | ∀ | 계 수 | | | |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | ∀ | ∀ | 0 | 계 수 | | | |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | ∀ | 0 | 0 | ∀ | 계 수 | | | |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |

※ 이 진리값표에서 표식 〈∀〉는 0과 1가운데서 어느것도 좋다는것이다.

집적회로의 내부는 크게 2진셈회로(방$_1$)와 5진셈회로(방$_2$, 방$_3$, 방$_4$,)로 이루어졌다. 두개의 단을 직렬련결(출구 $Q_A$를 입구 B에 련결)하면 입구 A에 대하여 10진셈회로로 된다.

론리곱하기부정회로들인 문$_1$, 문$_2$, 문$_3$, 문$_4$는 방아쇠회로들에 설정 및 지우기신호를 넣어주기 위한 문회로들이다.

$R_0(1)$, $R_0(2)$는 지우기입구단자인데 모두 1일 때 문$_4$의 출구가 0으로 되여 매 방아쇠회로를 0상태로 만든다. 즉 $Q_A$, $Q_B$, $Q_C$, $Q_D$는 모두 0으로 지워진다.

$R_9(1)$, $R_9(2)$는 설정입구단자이다.

이 단자가 둘 다 1일 때 회로는 10진수 9($Q_D$=1, $Q_C$=0, $Q_B$=0, $Q_A$=1)를 설정한다.

**[참고자료] 수자형집적소자를 사용할 때 쓰지 않은 다리의 처리**

수자형집적소자를 사용할 때 한개의 집적소자가운데서 일부 문회로를 사용하지 않은가 한개의 문회로가운데서도 일부를 사용하지 않는 경우가 흔히 생긴다.

이런 경우에 사용하지 않는 문회로의 입출구단자를 어떻게 처리하는가를 보자.

우선 쓰지 않는 문회로의 모든 입구단자를 한데 묶어서 〈1〉또는 〈0〉(Vss 또는 접지에 접속시킨다.)상태로 하고 출구단자는 열린 상태(어디에는 접속되지 않는다.)로 놓아둔다.

또한 그림 2-14에서와 같이 4개의 입구단자가운데서 세개만 사용하는 경우 사용하지 않는 한개의 입구단자에 대하여 론리곱하기부정문회로나 론리곱하기문회로에서는 〈1〉로 하고 론리더하기부정문회로를 론리더하기문회로에서는 〈0〉으로 한다.

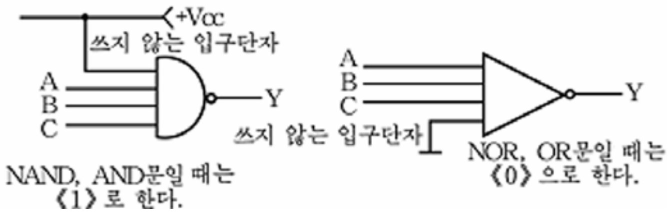



**그림 5-27. 쓰지 않는 다리의 처리**

(〈1〉일 때는 Vcc에, 〈0〉일 때는 접지에 련결한다.)

C-MOS소자에서는 쓰지 않는 입구단자를 그냥 내버려두면 안되며 반드시 〈1〉또는 〈0〉상태를 해주어야 한다.

**련습문제**

1. 그림 5-22의 회로에서 출구에 두개의 임풀스파형이 나오자면 셈회로의 입구에 몇개의 임풀스가 작용해야 하는가?
2. 그림 5-23의 회로에서 출구에 3개의 임풀스파형이 나오자면 셈회로의 입구에 몇개의 임풀스가 들어가야 하겠는가?
3. 32진, 64진셈회로를 구성하려면 각각 방아쇠회로 몇개씩 써야 하는가?
4. 오름면시동D방아쇠회로 2개를 써서 4진셈회로를 구성하였다.(그림 5-28) 이 셈회로의 동작파형($CK_1$, $Q_1$, $Q_2$)을 그려라.

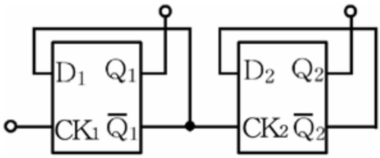



그림 5-28. D방아쇠회로를 리용한 4진셈회로

5. J, K방아쇠회로를 써서 16진셈회로를 구성하여라.
6. 그림 5-29은 입구임풀스가 1개씩 주어질 때마다 출구상태의 조합 $Q_3Q_2Q_1$의 값이 하나씩 작아지는 셈회로(덜기셈회로)이다. 이 셈회로의 동작파형($CK_1$, $Q_1$, $Q_3$)을 그려보아라. 셈회로의 처음 출구상태는 $Q_3Q_2Q_1$=111이다.

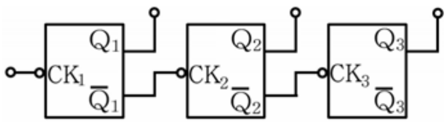



그림 5-29. 덜기셈회로

［실습］ 수자회로의 동작고찰

1. 회로와 동작원리

그림 5-30에 실습하려는 회로도를, 그림 5-31에는 조립도를 보여주었다.

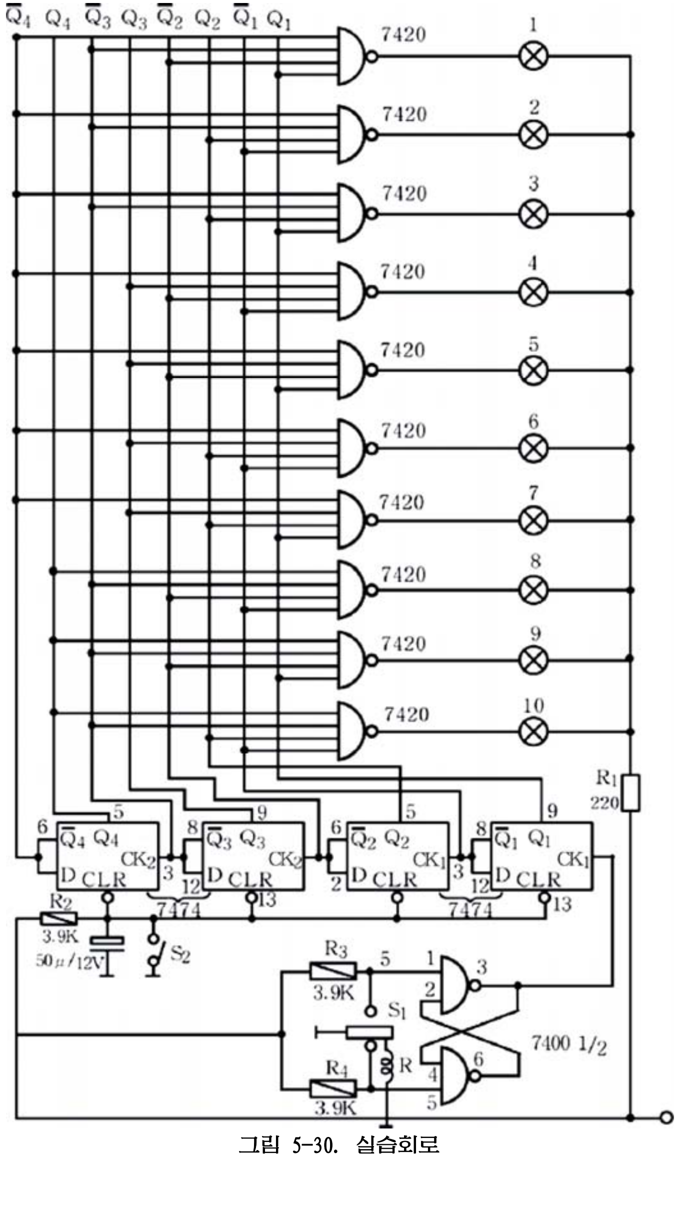


그림 5-30. 실습회로

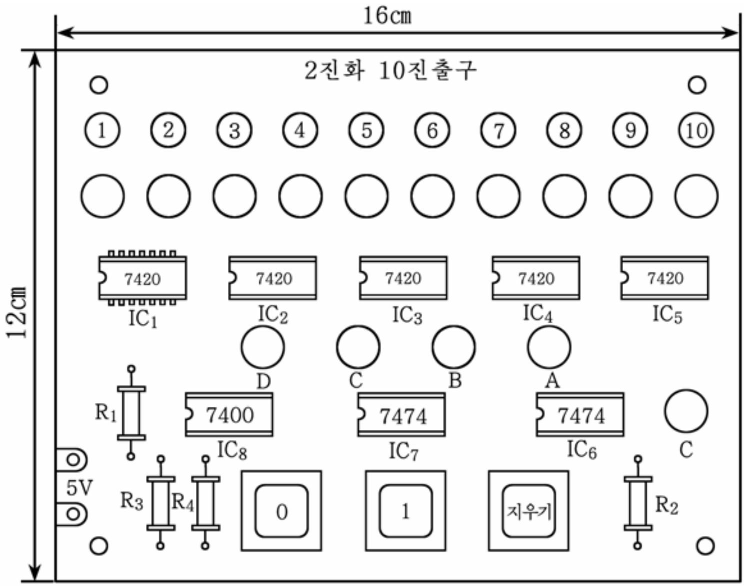



그림 5-31. 조립도

### 1) 회로구성과 집적회로들의 역할

회로는 크게 3개의 부분으로 이루어져있다. 즉 집적회로 7400으로 이루어진 신호발생회로, 집적회로 7474 2개로 이루어진 셈회로, 집적회로 7420 5개로 이루어진 10진해신기로 구성되여있다.

저항 $R_1$, $R_2$, $R_3$, $R_4$는 집적회로에 지나친 전류가 흐르는것을 막기 위한 전류제한저항들이고 50㎌의 축전기는 전원려파요소이다.

회로에 들어있는 집적회로들의 역할을 보자.

#### (1) 7400

이 집적회로는 4중2입구론리곱하기부정소자이다.

집적회로 7400의 기능 및 단자배치도를 그림 5-32에 주었다.

소자에 들어있는 4개의 2입구론리곱하기부정회로가운데서 2개를 써서 S-R방아쇠회로를 구성하였다.

그림 5-30에서 1～6까지의 수자는 7400의 단자번호이다.

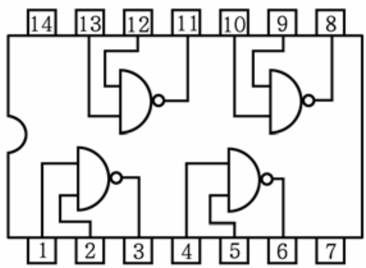



그림 5-32. 집적회로 7400의 기능 및 단자배치도

이 S-R방아쇠회로에서는 스위치 $S_1$을 우아래로 움직일 때마다 출구(단자 3)에 한개씩의 구형임풀스가 나온다.

**(2) 7474**

이 소자는 D방아쇠집적회로로서 소자안에는 오름면시동D방아쇠회로가 2개 들어있다. 그러므로 총 4개의 D방아쇠회로를 가지고 셈회로를 구성하였다.

그림 5-33에서 보는바와 같이 매 방아쇠회로의 입구는 동기임풀스단자 CK로 하였으며 출구 $\overline{Q}$는 D단자와 묶어서 다음 방아쇠회로의 입구단자 CK에 련결하였다. 그리고 CLR는 지우기단자인데 4개의 방아쇠회로의 CLR단자를 공동으로 묶어서 스위치 $S_2$에 련결하였다. $S_2$을 닫으면 이 단자에 〈0〉이 들어가 모든 출구가 〈0〉으로 된다.

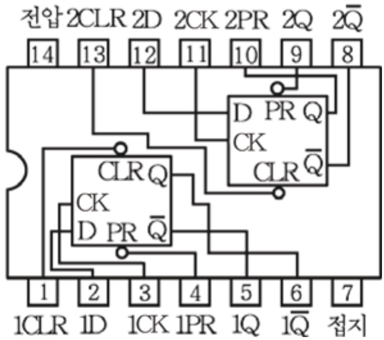



그림 5-33. 집적회로 7474의 단자배치도

**(3) 7420**

이 소자는 그림 5-34에서 보는바와 같이 2중4입구론리곱하기부정집적회로이다. 즉 4개의 입구가운데서 하나라도 〈0〉이면 출구는 〈1〉로 되고 4개의 입구가 다 〈1〉 일 때 출구가 〈0〉으로 된다.

7420소자 5개로 10진해신기회로를 구성하였다. 매 론리곱하기부정회로의 출구에는 표시등(발광2극소자)이 련결되여있다. 론리곱하기회로의 4개의 입구가 모두 〈1〉일 때 출구가 0으로 되면서 표시등으로 전류가 흘러 불이 켜진다.

매개 집적회로와 회로에는 직류전압 +5V가 공급되는데 이 직류전원회로는 그림에 표시하지 않았다.

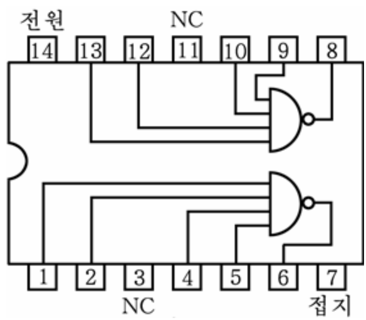



그림 5-34. 집적회로 7420의 단자배치도

**2) 동작원리**

먼저 S-R방아쇠회로의 스위치 $S_1$을 우아래로 움직일 때 출구

(③번단자)에 구형임풀스가 생기는 원리를 보자.

스위치 $S_1$이 그림에서와 같이 되여있는 상태에서 R=0, S=1이므로 S-R방아쇠회로의 출구는 〈0〉이다.

스위치 $S_1$을 우로 올리면 S=0, R=1로 되며 S-R방아쇠회로의 출구는 〈1〉로 된다.

다음 $S_1$을 다시 아래로 내리면 출구는 〈0〉(이때 R=0, S=1로 되므로)으로 되여 하나의 구형임풀스가 형성된다.

이와 같은 원리로부터 S-R방아쇠회로에서는 $S_1$을 우아래로 움직일 때마다 출구에 한개씩의 구형임풀스가 나온다.

다음으로 셈회로부분의 동작을 보자.

스위치 $S_2$을 올렸다가 내리면 방아쇠회로의 모든 지우기(CLR)단자에 〈0〉이 들어가므로 방아쇠회로의 출구는 $Q_4Q_3Q_2Q_1$=0000, $\overline{Q}_4\overline{Q}_3\overline{Q}_2\overline{Q}_1$=1111로 된다. 그러면 매 론리곱하기부정회로(7420)는 입구가 어느 하나라도 〈0〉이 되기때문에 출구는 〈1〉로 된다. 따라서 모두 켜지지 않는다.

첫 임풀스가 들어오면 그의 오름면에서 첫 방아쇠회로가 동작하여 출구 $Q_1$은 0에서 1로, $\overline{Q}_1$는 1에서 0으로 상태가 절환된다.

두번째 방아쇠회로의 입구는 첫 방아쇠회로의 $\overline{Q}_1$출구와 련결되여있다. 그런데 방아쇠회로는 정극성시동이므로 $\overline{Q}_1$는 1에서 0으로 되여도 두번째 방아쇠회로는 동작하지 않는다. 따라서 세번째, 네번째 방아쇠회로도 동작하지 않고 처음상태를 유지한다.

이리하여 첫 임풀스가 작용할 때 4개의 셈회로방아쇠의 출구는 $Q_4Q_3Q_2Q_1$=0001, $\overline{Q}_4\overline{Q}_3\overline{Q}_2\overline{Q}_1$=1110으로 된다.

이때 첫번째 4입구론리곱하기부정회로의 4입구가 모두 〈1〉로 되여 그의 출구가 〈0〉이므로 첫번째 표시등만 불이 켜진다. 다른 4입구론리곱하기부정회로들은 그 입구가 다같이 〈1〉로 되지 못하므로 그 표시등들은 불이 켜지지 못한다.

다음 두번째 임풀스가 들어오면 첫 방아쇠회로의 출구 $Q_1$은 1에서 0으로, $\overline{Q}_1$는 0에서 1로 된다.

두번째 방아쇠회로의 입구와 련결된 $\overline{Q}_1$가 0에서 1로 되므로 두번째 방아쇠회로도 동작하여 그의 출구 $Q_2$는 0에서 1로, $\overline{Q}_2$는 1에서 0으로 된다. $\overline{Q}_2$가 1에서 0으로 되므로 세번째 방아쇠회로는 동작하지 못하고 이전상태를 유지한다.

결과 두번째 임풀스가 들어올 때 4개의 방아쇠회로의 출구는 $Q_4Q_3Q_2Q_1$=0010, $\overline{Q}_4\overline{Q}_3\overline{Q}_2\overline{Q}_1$=1101로 된다.

이때에는 두번째 4입구론리곱하기부정회로의 4입구가 모두 〈1〉로 되므로 두번째 표시등에 불이 온다.

같은 원리로 세번째 임풀스가 들어오면 $Q_4Q_3Q_2Q_1$ =0011, $\overline{Q}_4\overline{Q}_3\overline{Q}_2\overline{Q}_1$=1100으로 되면서 세번째 4입구론리곱하기부정회로에 련결된 표시등에 불이 오게 한다.

네번째, 다섯번째, … 임풀스에 대해서도 같은 원리로 동작한다.

## 2. 실습준비

① 실습하려는 회로를 깊이 학습하여 회로구성과 동작원리를 환히 꿰들고있어야 한다.

② 회로의 동작을 선도로 그리기 위한 방안지(그물모양으로 잘게 줄칸을 친 종이) 1장(B5용지 규격으로)

③ 회로시험기(론리회로시험기가 있으면 더 좋다.)

## 3. 실습방법

① 전원스위치를 넣어 회로에 직류전압 +5V가 공급되도록 한다.

② 셈회로방아쇠회로의 Q출구를 모두 0으로 하기 위하여 스위치 $S_2$를 눌렀다 놓는다. 그러면 방아쇠회로의 모든 지우기(CLR)단자에 〈0〉이 들어가서 표시등이 모두 꺼진다.

③ 스위치 $S_1$을 조작하여 S-R방아쇠출구에 임풀스를 발생시키면서 임풀스개수에 따라 해당한 표시등이 켜지는것을 관찰한다.

④ 회로시험기로 방아쇠회로, 론리곱하기부정회로의 입구 및 출구전압을 매번 측정하여 진리값표를 작성한다.

⑤ 4개의 D방아쇠회로에 대한 동작파형선도를 그린다.

## 4. 실습에 대한 결속

학생들이 다음과 같이 실습보고서를 작성하여 실습지도교원에게 바쳐야 한다.

① 집적회로 7400, 7474, 7420의 다리배치도와 진리값표

② 실습에서 측정한 전압값과 그것으로 작성한 진리값표

③ 셈회로의 동작시간선도

# 제6장. 천연색TV의 원리

위대한 령도자 **김정일**원수님께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《텔레비죤기술은 개발된지 얼마 오래지 않지만 그 발전이 매우 빠르고 리용분야가 넓습니다. 오늘 텔레비죤기술은 방송분야에서만이 아니라 인민경제와 과학연구사업에 널리 리용되고있습니다.》

TV방송은 화면과 음성이 배합된 아주 생동하고 우월한 선전선동수단으로서 사람들의 사상문화생활에서 커다란 역할을 놀고있다.

TV방송을 통하여 나라의 방방곡곡에 당의 로선과 정책이 전달되며 과학과 기술, 문화지식이 보급되고있다.

경애하는 수령 **김일성**대원수님과 위대한 령도자 **김정일**원수님의 현명한 령도에 의하여 우리 나라에서는 이미 온 나라의 TV화가 빛나게 실현되였으며 우리 인민들은 누구나 질좋은 TV를 갖추어 놓고 문화정서생활을 마음껏 누리고있다.

수십여년의 력사를 가지고있는 TV는 흑백색TV로부터 천연색TV로 다시말하여 전자관식, 반도체소자식, 집적회로식, 대규모집적회로식, 수자식으로 급속히 발전하여왔으며 오늘날에 와서 흑백색TV는 점차 자취를 감추게 되였다.

현대 전자공학의 성과들이 집대성되여있는 천연색TV에 대하여 잘 알고 다루자면 무엇보다도 천연색TV에 대한 기초지식부터 튼튼히 닦고 꾸준히 학습하여야 한다.

여기서는 천연색TV에 대한 일반지식과 일반원리에 대하여 해설한다.

## 제1절. 천연색TV에 대한 일반지식

### 1. 색에 대한 일반지식

#### 1) 색

천연색TV을 리해하자면 색에 대한 개념을 알고있어야 한다.

색에 대한 정확한 개념을 알아야 천연색TV의 원리를 파악할수 있으며 천연색TV을 발전시킬수 있다.

색이란 한마디로 말하여 물체가 내보내는 빛의 속성으로 표현되는데 빛의 파장(주파수)에 따라 구별되는 감각이다. 다시말하여 빛에 의하여 눈에 느끼는 물체의 성질을 **색**이라고 부른다.

파장에 따르는 색갈분포를 그림 6-1에 주었다.

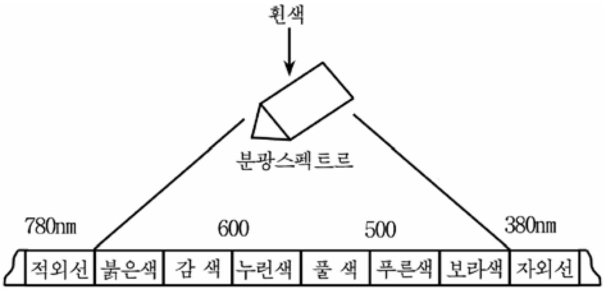



그림 6-1. 색의 파장범위

## 2) 색의 3요소

### (1) 색상

색상은 붉은색, 누런색, 풀색, 푸른색과 같은 색의 상태를 색의 종류로 특징지어지는 색의 속성이다.

색상은 색을 표시하는 가장 중요한 속성으로서 색갈느낌의 기본이라고 할수 있다.

### (2) 색포화도

같은 색상을 가진 색이라고 하더라도 연한것과 질은것으로 갈라볼수 있다.

색포화도는 색의 농도 또는 질은 정도를 나타내는 색의 속성이다.(간단히 포화도라고 한다.)

색상과 색포화도는 색의 기본성질을 나타내기때문에 이것을 통털어 **색도**라고 부른다.

색상은 색의 종류이고 포화도는 색의 흰색이 포함되는 비률이다.

### (3) 색밝기

밝고 어두운 색느낌의 성질을 밝기라고 한다.

## 3) 색의 합성

천연색TV에서 세가지 색의 빛을 내는 형광체에 의하여 여러가지 색을 얻는다.

이 세가지 색을 색더하기법(가색법)의 3원색이라고 하는데 여기에는 붉은색(R), 풀색(G), 푸른색(B)이 속한다.

이 3원색으로 모든 색을 합성할수 있으며 얻어진 색은 자연의 색과 별로 차이가 없다.

색더하기법에 의한 색의 합성을 그림 6-2에 주었다.

그림에서 보는바와 같이 여러가지 색의 빛을 흰판에 비치고 그것들을 겹치면 새로운 다른 색이 얻어진다.

이것을 **색더하기법**이라고 부른다.

천연색수상관에는 붉은색, 푸른색, 풀색으로 된 작은 점광원조가 30만개이상 배렬되여있다. 그러므로 붉은색, 풀색, 푸른색의 점광원 한조로 빛을 내는 방법에 따라 여러가지 색을 얻을수 있다.

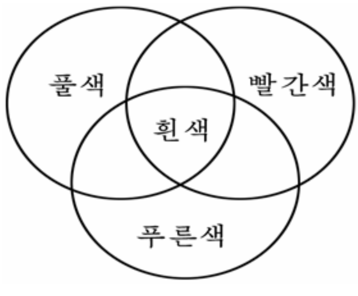


그림 6-2. 색더하기법(가색법)에 의한 색의 합성

### 2. 천연색TV의 량립성

흑백색TV의 영상신호성분은 0으로부터 6㎒까지의 주파수대역을 차지하고있지만 천연색TV에서는 3개의 신호를 보내야 하기때문에 6㎒만 한 대역의 3배 즉 18㎒의 주파수대역이 필요하다.

그런데 이렇게 넓은 대역을 가진 전자장치들을 만들자면 기술적으로 복잡한 문제들이 제기된다.

이렇게 되면 천연색TV로 흑백색TV방송을 시청할수 없다. 그러므로 천연색TV에서는 이런 불합리한 점을 없애기 위하여 흑백색TV방송이 차지하는 주파수대역에 천연색TV의 밝기신호(즉 흑백색영상신호)성분과 색신호성분을 끼워넣어 그 주파수대역을 흑백색TV와 같게 하고있다.

이렇게 하면 천연색방송을 하는 경우에 천연색TV에서는 천연색화면이 그대로 나타나고 흑백색TV에서는 그것이 흑백색화면으로 나타난다. 반대로 흑백색방송을 하는 경우에는 천연색TV에서나 다 흑백색화면을 볼수 있다. 이것을 TV에서의 **량립성**이라고 부른다.

## 3. 천연색TV의 표준방식과 색합성영상신호

### 1) 천연색TV의 표준방식

천연색TV에서는 송신쪽에서 영상을 분해하여 순차로 보내고 수신쪽에서 순차로 조립하여 화면을 얻으므로 여기서는 송수신쪽에서의 분해조립방법이 정해져야 한다.

천연색TV의 표준방식은 이와 같은 분해조립방식을 결정하여 놓은것을 말하는데 여기에는 몇가지방식이 있다.

표준방식의 내용에는 전개방식, 주사선수, 매초화면수, 동기신호의 형태, 변조방식, 영상과 음성피변조파대역의 너비 등이 포함된다.

표준방식에서 기본은 주사선수이다.

우리 나라에서는 625주사선체계로 하고있다.

#### (1) 전개방식

전개방식에는 순차식전개와 간격식전개방식이 있다.

순차식전개란 처음부터 모든 주사선을 하나도 빠짐없이 차례로 전개하는 방식이다.

이 방식은 화면에서 재현되는 영상이 깜박거리므로 현재 쓰지 않는다.

간격식전개란 처음에 홀수번째 주사선을 전개하고 다음에 짝수번째 주사선을 전개하는 방식 즉 다시말하여 온근한개의 화면을 두개의 반화면으로 나누어 전송하는 방식을 말한다.

#### (2) 주사선수와 매초화면수

한개 화면안에 들어가는 주사선의 수가 많을수록 영상이 선명하고 부드럽게 되살려진다. 그렇다고 하여 주사선의 수를 지내 많이 하려면 여러가지 기술적문제들이 제기된다. 그러므로 주사선수는 일정한 값으로 규정하고있다.

이 주사선의 수는 나라마다 약간씩 차이나는데 우리 나라 TV체계에서는 625방식(하나의 영상을 세로로 625등분한 방식)을 쓰고있다. 즉 주사선수를 625로 하고있다.

사람의 눈은 어떤 빛을 받으면 그것이 사라진 다음에도 약 0.1s만 한 시간동안 그것을 기억하는 성질을 가지고있다. 그러므로 매초 16번이상 바뀌여지는 화면에 대해 서로 갈라보지 못하고

련속된 장면으로 느끼게 된다. TV에서는 매초 25개의 영상을 바꾸어 보내고 받는다.

**(3) 동기신호의 형태, 변조방식, 영상과 음성피변조파대역너비**

동기신호에는 수평동기신호, 수직동기신호, 색동기신호가 있으며 변조방식은 영상신호는 진폭변조, 음성신호는 주파수변조이다.

영상과 음성피변조파대역은 6.5㎒이다.

### 2) 색합성영상신호

TV방송국에서 보내는 흑백색TV방송신호는 합성영상신호이다.

이 합성영상신호는 영상신호와 동기신호로 이루어져있다. 여기에는 색을 나타내는 신호가 없다.

천연색TV방송의 량립성을 보장하기 위하여 이 합성영상신호에 색도신호로 변조된 파와 색동기신호를 넣어야 한다. 다시말하여 색합성영상신호에는 색도신호와 함께 흑백색TV에서와 같은 밝기신호가 있어야 한다.

그러므로 색합성영상신호에는 밝기신호, 동기신호, 색도신호로 변조된 파와 색동기신호가 포함되여있다.

색합성영상신호를 그림 6-3에 주었다.

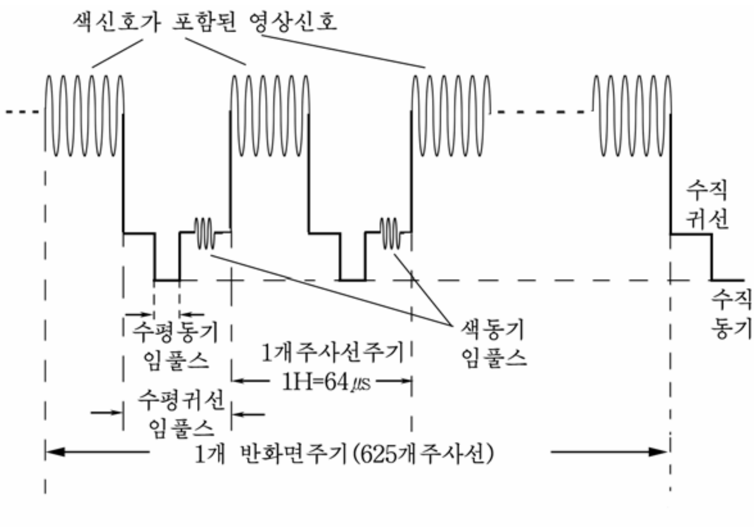



그림 6-3. 색합성영상신호

### 4. 천연색TV의 세가지방식

천연색TV방송은 색영상신호를 어떤 원리와 방법을 써서 보내고 받는가 하는데 따라 방송방식(천연색TV체계)이 달라진다.

지금 세계적으로 알려진 천연색TV방식을 종합해보면 크게 세개의 부류 즉 팔(PAL), 엔티에스씨(NTSC), 세캄(SECAM)으로 갈라볼수 있다.

#### 1) PAL방식

PAL방식의 이름은《주사선에 따르는 자리각엇바뀜》이라는 영어의 첫 글자들을 따서 부르는것이다.

PAL방식은 NTSC방식에서와 같이 부반송파를 두개의 색차신호로 직각위상변조를 하여 전송색신호를 얻고 이것을 밝기신호에 겹쳐서 합성영상신호를 얻는 방식이다.

PAL방식이 NTSC방식과 다른것은 두가지 색차신호가운데서 하나의 색차신호 $E_R-E_Y$, $E_B-E_Y$를 주사선마다 자리각을 180°로 엇바꾸어 내보내는것이다.

PAL방식에서는 부반송파의 주파수를 부반송파의 장애가 화면에 될수록 덜 나타나게 하기 위하여 4.43㎒로 선정하고있다.

우리 나라 천연색TV방식은 PAL방식이다.

#### 2) NTSC방식

NTSC방식의 이름은《국가TV체계위원회》라는 영어의 첫 글자들을 따서 부르는것인데 흑백색TV 525선주사체계에 기초하고있다. 때문에 TV전송통로가 5㎒로 되여있다.

이 방식에서는 두 색차신호로 I, Q신호를 쓰고있다.

NTSC방식은 자리각차가 90°인 부반송파를 두가지 색차신호로 각각 직각위상변조하여 전송색도신호를 얻고 이것을 밝기신호에 겹쳐서 합성영상신호를 얻는 방식이다. 그러므로 부반송파의 진폭은 색포화도를 나타내고 자리각은 색상을 나타낸다.

부반송파가 흑백색TV에서 나타나는 점무늬장애가 가장 덜 나타나게 하기 위하여 부반송파의 주파수 3.58㎒으로 선정하고있다.

#### 3) SECAM방식

SECAM방식의 이름은 순서대로《색도전송-기억》이라는 영어의 첫 글자들을 따서 부르는것이다.

SECAM방식도 다른 천연색TV방식과 마찬가지로 영상대역안에 있는 부반송파를 두가지 색차신호로 변조하여 전송하는 방식이다. 이때 진폭변조가 아니라 주파수변조를 한다.

**TV의 발명가**

TV는 영국의 과학자 죤 로지 베어드가 발명하였다.

베어드는 TV영상을 얻는데 모든 정력을 바친 결과 한명의 조수를 데리고 보잘것없는 실험실에서 1925년 10월 2일 드디여 세계최초의 TV를 완성하는데 성공하였다. 그 다음해 1월에는 과학학회가 조직하는 TV공개실험에서 대성공하였다.

당시 베어드가 발명한 TV는 주사원판이 전동기에 의하여 돌아가는 락후한 기계식TV였다.

후에 벨연구소에서 주사원판대신 전자관을 쓴 전자식TV를 만들어냈다.

## 제2절. 천연색TV의 일반원리

### 1. 천연색TV방송의 일반원리

TV방송은 주위공간을 매질로 하여 정보를 주고받는 무선통신체계에 기초하고있다.

무선통신체계에서는 송신측에서 대상물체의 영상이나 소리파의 음성과 같은 구체적인 정보를 전기적신호로 바꾼다음 이것을 증폭 및 변조하여 전자기파의 형태로 공간에 복사하며 수신측에서는 이 전자기파를 검출하여 다시 구체적인 정보로 되살린 다음 수상관과 고성기 등을 통하여 재생하는 방식을 취하고있다.

#### 1) 천연색TV방송의 송신원리

천연색TV의 원리를 원만히 리해하자면 TV방송의 송신체계와 구성도에 대하여 잘 알아야 한다.

그림 6-4에 TV방송의 일반적인 구성도를 주었다.

TV방송의 송신체계는 크게 영상신호계통과 음성신호계통으로 이루어져있다.

영상신호계통에서는 우선 피사체(대상물체)로부터 오는 영상정

보를 빛의 밝기와 색상의 형태로 수감하여 전기적신호로 바꾼다. 이것은 빛전하결합소자(CCD)를 수감부로 하는 송상카메라에 의해 실현된다.

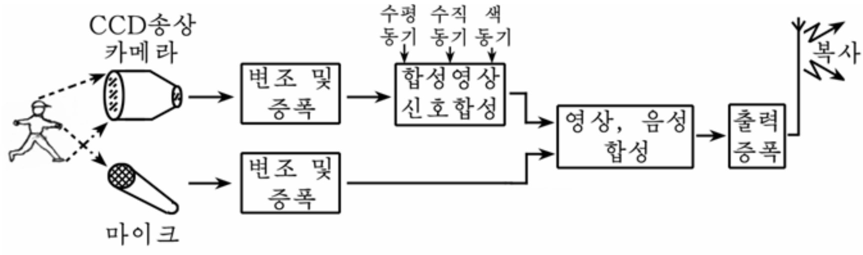



그림 6-4. 천연색TV방송의 송신체계 구성도

CCD에 의해 영상정보는 붉은색, 풀색, 푸른색에 해당한 전기적신호의 적당한 비률로 갈라져 붉은색신호 $E_R$, 풀색신호 $E_G$, 푸른색신호 $E_B$로 되며 행렬회로에서 전송색신호 $E_R-E_Y$, $E_B-E_Y$와 밝기신호 $E_Y$로 변환된다.

3원색신호를 전송색신호로 변환시키는 리유는 종전의 흑백색TV방송과의 량립성을 보장하기 위하여 지금까지 리용하여 온 흑백색TV의 주파수대역(6㎒)에 색신호성분을 끼워넣기 위해서이다.

밝기신호 $E_Y$도 바로 이 량립성을 만족시키기 위하여 만들어낸 것이다.

이를 위하여 TV방송에서는 중첩통신기술이라는 특수한 기술을 리용하고있다.

$E_R-E_Y$, $E_B-E_Y$와 같이 두 색신호의 차로 이루어진 신호를 **색차신호**라고 부른다.

두 색차신호는 4.43㎒의 고주파신호에 태워져 반송색신호로 만들어진다.

이때 반송색신호의 주파수대역은 4.43㎒+1.3㎒로 보장된다. 이상의 과정은 위상변조의 특수한 형태인 직각위상변조에 의해 실현되며 이때 벡토르값을 가지는 반송색신호의 위상은 색갈의 종류인 색상을 표시하고 진폭은 색의 농도인 색포화도를 나타낸다.

반송색신호(색도신호로 변조된 파라고도 한다.)는 밝기신호 $E_Y$와 겹쳐지고 수신측과 그림을 일치시키기 위한 수평 및 수직동

기신호, 색상을 맞추기 위한 색동기신호와 조합되여 합성영상신호로 만들어진다.

합성영상신호는 흑백색TV에서와 같이 보다 높은 주파수인 영상반송파(수십~수백㎒)를 진폭변조한 다음 음성피변조파와 합쳐져 출력증폭되여 안테나를 통해 공간에 복사된다.

음성신호계통에서는 음성파를 마이크를 통해 전기적신호로 바꾼 다음 이것을 증폭하고 6.5㎒의 고주파와 합성(주파수변조)하며 합성영상신호에 포함시켜 보내게 된다.

**2) 천연색TV방송의 수신원리**

천연색TV에서는 안테나를 통해 신호를 받아 본래의 정보인 영상과 음성을 되살리는 역할을 수행함으로 송신체계의 반대과정으로 이루어지게 된다.(그림 6-5)

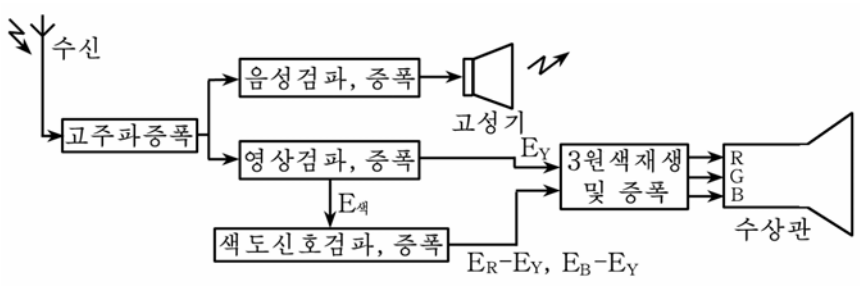



그림 6-5. 천연색TV수신체계구성도

천연색TV의 안테나를 통해 들어온 고주파신호의 세력은 수㎶정도로서 아주 약하므로 이것을 우선 고주파증폭회로에서 검파에 필요한 준위까지 증폭하여야 한다.

다음 이로부터 영상신호부분과 음성신호부분을 따로따로 복조(검파)하여 실지정보인 영상신호와 음성신호를 얻은 다음 증폭하여 말단부하인 수상관과 고성기를 통해 영상과 음성으로 재생하게 된다.

영상신호계통에 들어온 합성영상신호는 먼저 밝기신호($E_Y$)와 색도신호 $E_{색}$으로 선별되여 각각 밝기회로와 색도회로를 통해 증폭된 다음 다시 합쳐져 3원색재생회로를 통하여 3원색신호 $E_R$, $E_B$, $E_Y$로 변환되여 수상관에 들어가게 된다.

[상식] 라지오파와 TV파는 어떻게 다른가

지금 우리가 살고있는 지구의 하늘에는 라지오파와 TV파를 비롯한 수많은 전자기파들이 오가고있다.

전자기파의 전파속도는 1s동안에 30만km로서 빛의 속도와 같다.

전자기파는 파장과 주파수에 따라 장파, 중파, 중단파, 단파, 초단파, 극초단파로 나눈다.

라지오파는 파장이 수m~수만m의 길이를 가진 장파, 중파, 중단파, 단파를 쓴다.

TV파는 파장이 0.1~10m에 이르는 초단파, 극초단파를 쓴다.

초단파와 극초단파를 TV파로 쓰는것은 그것의 주파수범위가 넓기때문이다. 보통 우리 나라 TV방송주파수를 놓고보아도 TV 한 통로에서도 영상주파수와 음성주파수차이는 6.5MHz이다. 그러므로 주파수범위가 좁은 장파나 중파, 중단파, 단파는 TV파로 쓸수 없다.

TV파는 그 주파수범위가 넓으므로 라지오파와 일정한 차이점을 가지고있다.

### 3) 천연색TV수상관

수상관의 종류에는 여러가지가 있지만 여기서는 제일 많이 쓰이는 다공가림판식색수상관에 대하여 보기로 한다.(그림 6-6)

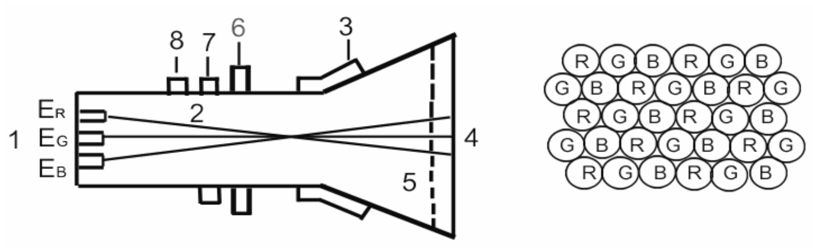



그림 6-6. 다공가림판식 색수상관의 구조와 3색형광점의 배렬

그림 6-6에서와 같이 다공가림판식 색수상관의 구조는 붉은색, 풀색, 푸른색의 삼색신호를 받아들이는 3개의 음극전자총과 살창무늬의 다공가림판, 점상태의 삼색형광판을 가진 전자선관으로 이루어져있다.

형광면에는 붉은색, 풀색, 푸른색의 빛을 내는 형광체가 30만

조(90만~100만개)정도 배렬되여있으며 매개의 조는 다공가림판의 격자구멍과 수평직선을 이루고있어 세 전자총에서 방출된 전자선은 정확히 자기색에 해당한 형광점만을 타격하여 색을 내게 되여있다.

그러므로 3개의 전자총에 그에 해당한 영상신호를 보내면 형광면에는 3색영상이 겹쳐진 천연색화면이 나타난다.

［상식］ 직각형수상관

지금 천연색TV에서 이전의 원형수상관이 아니라 직각형수상관이 많이 리용되고있으며 완전히 직각평면인 수상관도 보급되기 시작하였다.

그 특징을 보면 다음과 같다.

- 외부에서 들어오는 빛반사를 억제한다.

앞면의 곡률반경이 원형에 비하여 2배이므로 외부빛에 의한 빛반사를 30％감소시킨다.

- 변두리에서 시각확인성이 높아졌다.

화면의 가장자리에 표시된 문자는 원형인 경우 보이므로 판별하기 어려웠으나 FS관은 직각이므로 변두리에서 시각확인성이 15％ 높아졌다.

- 겉보기의 도형이지러짐이 감소되였다.

수상관에 표시된 도형은 일반적으로 보는 각도에 따라 이지러진다.

FS관은 앞면이 보다 평면이므로 도형이지러짐도 적다.

- 표시령역이 커졌다.

직각형이므로 수직수평의 화면유효길이는 변하지 않으면서 표시령역이 커졌다.

## 2. 천연색TV의 기초지식

천연색TV는 전자공학과 임풀스공학을 비롯한 최신전자기술의 종합체로 구성되여있어 천연색TV의 내부회로의 동작원리와 신호의 전달과정을 파악하자면 그 기초개념과 원리들에 대한 상식을 가져야 한다. 여기서는 천연색TV의 내부구조와 기능을 파악하는데 도움이 될수 있는 몇가지 개념과 원리회로들에 대하여 보기로 한다.

### 1) 변조와 복조(검파)

변조와 복조는 무선통신기술에서 가장 중요한 부분의 하나이다.

전자기파의 성질로부터 공간을 전파매질로 하는 무선통신에서 먼거리통신을 실현하자면 주파수가 아주 높은 전자기파를 리용하여야 한다.

실례로 영상신호와 음성신호의 주파수는 낮으므로 이것을 그대로 공간에 복사하면 멀리 전달되지 못하므로 이보다 주파수가 훨씬 높은 수십㎒~수백㎒이상의 고주파신호에 중첩시켜 보내야 한다.

이와 같이 유효한 정보(영상과 음성)를 나타내는 저주파신호를 그보다 훨씬 높은 고주파신호에 태우는 과정을 **변조**라고 한다.

이때 저주파신호를 **변조파신호**, 고주파신호를 **반송파신호**라고 하며 변조된 신호를 **피변조파신호**라고 한다.

수신측에서는 피변조파신호로부터 다시 유효한 정보를 나타내는 저주파신호를 갈라내야 하는데 이러한 과정을 **복조** 또는 **검파** 라고 한다.

변조의 원리는 저주파신호의 모양에 따라 고주파신호의 진폭이나 주파수, 위상 등을 변화시키는것으로서 그 종류도 여러가지가 있다.

**진폭변조(AM)**- 저주파신호의 진폭에 따라 고주파신호의 모양을 변화시키는 변조방식이다.(그림 6-7)

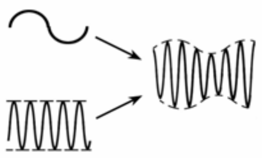


**그림 6-7. 진폭변조파형**

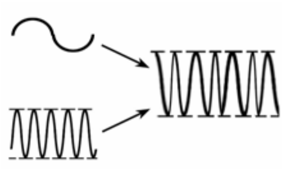


**그림 6-8. 주파수변조파형**

진폭변조는 라지오통신에서와 TV방송에서 합성영상신호의 변조에 리용한다.

진폭변조의 반대과정은 진폭검파이다.

**주파수변조(FM)**- 저주파신호의 모양에 따라 고주파신호의 주파수를 변화시키는 변조방식이다.(그림 6-8)

라지오통신과 TV방송에서 음성신호를 변조하는데 리용한다.

주파수변조의 반대과정은 주파수검파이다.

**위상변조(PM)**- 저주파신호의 모양에 따라 고주파신호의 위상을 변화시키는 변조방식이다.(그림 6-9)

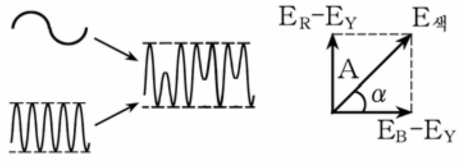



그림 6-9. 위상변조파형과 직각위상변조의 벡토르선도

위상변조된 신호는 고주파신호의 진폭과 주파수가 일정하며 위상만이 변화된 상태로 된다.

색TV방송체계에서 위상변조의 한 형태인 직각위상변조를 리용하여 색차신호를 고주파에 태우고있다.

직각위상변조는 색신호를 전송할 때 두 색차신호의 위상을 90°만큼 차이나게 하여 4.43㎒의 반송파를 변조시키는 방식이다.

이때 반송색신호는 $E_{색}=a(E_R-E_Y)\cos\omega t+b(E_B-E_Y)\sin\omega t$로 표시된다.

그림 6-9에서 α는 색상을, A는 색포화도를 나타낸다.

천연색TV에서는 직각위상변조된 반송색신호로부터 색차신호를 갈라내기 위해 동기검파를 리용한다.

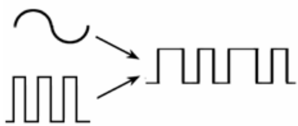


그림 6-10. 임풀스너비변조파형

**임풀스너비변조(PWM)**- 주파수변조와 원리상 비슷하며 임풀스의 너비를 변화시키는 변조방식이다.(그림 6-10)

### 2) 공진회로

공진회로는 무선수신체계에서 필요한 신호를 선택, 수신하기 위한 회로로서 전자기공진현상원리에 기초하고있다.(그림 6-11)

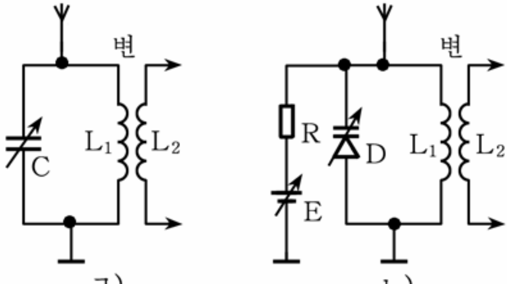



그림 6-11. 여러가지 공진회로

그림 6-11의 ㄱ)에서 변성기의 1차줄토리 $L_1$과 가변축전기 C는 공진회로를 이루고있으며 안테나에 걸린 각이한 주파수의 신호들가운데서 공진회로의 고유공진주파수 $f_{공}=1/\ 2\pi\sqrt{L_1C}$ 에 해당한 신호만이 세게 공진되여 $L_2$을 통해 다음단에 넘어가게 된다. 즉 C의 값을 변화시켜 필요한 주파수의 신호를 공진시켜 선택할수 있게 된다.

공진회로는 라지오와 TV에서 필요한 방송국의 통로를 선택수신하는데 리용되며 최근에는 부피가 큰 가변축전기대신 가변용량2극소자를 리용하여 전자식으로 공진주파수를 변화시키고있다.(그림 6-11의 ㄴ)

### 3) 대역려파 및 흡수회로

**대역려파회로**- TV영상신호나 음성신호는 어떤 주파수를 기준으로 일정한 주파수의 범위내에 분포되여있다.

실레로 TV방송국에서 내보내는 영상신호의 주파수분포대역은 그림 6-12와 같다.

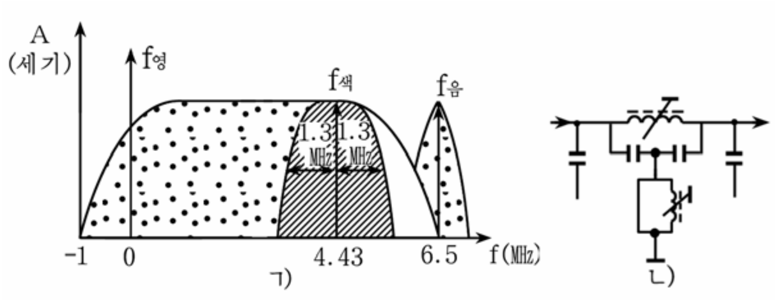



그림 6-12. 영상신호의 스펙트르곡선(ㄱ)와 대역려파회로(ㄴ)

이것을 영상신호의 주파수에 따르는 **스펙트르곡선**이라고 한다.

여기서 색신호가 차지하는 주파수분포는 4.43MHz+1.3MHz이므로 색대역증폭회로에서는 이 근방의 신호만을 검출하여 처리하게 된다.

대역려파회로는 넓은 범위의 주파수성분으로부터 제한된 범위의 주파수성분만이 통과되도록 줄토리 L과 축전기 C로 구성된 공진회로의 형태를 취하고있으며 다른 부분의 주파수성분은 세게 잦아들도록 하는 특성을 가지고있다.

색TV에서 영상증폭회로의 색신호부분만을 갈라낼 때 4.43MHz +1.3MHz의 대역려파기를 통과하며 이외에도 고주파신호로부터 영상중간주파증폭회로로 중간주파신호를 넘길 때 38MHz의 공진회로, 영

상중간주파증폭회로로부터 음성반송파신호를 선별할 때 6.5㎒ 공진회로 등의 형식으로 리용된다. 최근에는 종래의 복잡한 LC공진회로형식으로부터 려파효과가 아주 크고 보다 간단한 겉면파사기려파소자가 개발되여 리용되고있다.(그림 6-13)

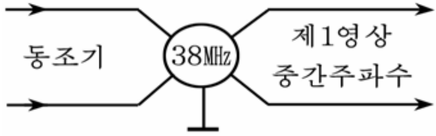



그림 6-13. 겉면파사기려파소자에 의한 대역려파회로

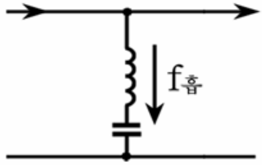



그림 6-14. 간단한 흡수회로

**흡수회로**- 넓은 범위의 주파수성분가운데서 일정한 부분의 주파수성분을 세게 감쇠시켜(잦아들게 하여) 다음단에 통파시키지 않는 회로를 말한다.(그림 6-14)

흡수회로는 LC직렬공진의 원리에 기초하고있다.

L과 C로 결정되는 공진주파수성분은 접지를 통해 세게 흐르므로 다음단에 넘어가지 못한다.

실례로 천연색TV에는 영상증폭단에서 색성분을 제거하기 위한 4.43㎒ 흡수회로, 음성신호성분을 잦아들게 하기 위한 6.5㎒흡수회로 등이 있다. 전용흡수소자(6.5㎒)들도 개발되고있다.

#### 4) 위상검출회로

두 신호의 위상차를 검출하는 회로이다.(그림 6-15)

두 신호 $f_1$와 $f_2$의 불일치성은 주로 위상차 $\alpha$와 주파수편차 df로 특징지어지며 여기서도 기본은 위상차 $\alpha$이다. 위상차 $\alpha$는 대체로 전송통로에서의 이지러짐으로서 이 차이를 검출하여야 TV방송을 비롯한 무선통신에서 동시성과 정확성을 보장할수 있다.

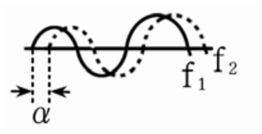



그림 6-15. 두 신호의 위상차 파형

위상검출회로는 두 신호의 주파수와 위상을 일치시키기 위한 조종회로에서 리용된다.

이 회로는 천연색TV의 자동주파수조절회로(AFT), 자동위상조정회로(APC) 등에 리용한다.

영상검파회로에서는 영상중간주파신호로부터 합성영상신호를 검파하여 여러개의 단으로 구성된 영상증폭회로에 보낸다. 한편 영

상중간주파수와 음성중간주파수의 차주파수(38㎒-31.5㎒=6.5㎒)인 음성제2중간주파수를 만들어 음성회로에 보낸다.

영상증폭회로에서는 먼저 합성영상신호에서 합성동기신호를 검출하여 동기회로에 보낸 다음 영상신호를 1단증폭한다. 증폭된 영상신호에서 색도신호를 분리하여 색도회로에 보낸 다음 Y지연선과 제2, 제3영상증폭회로를 거쳐 역행렬회로에 밝기신호 $E_Y$를 보낸다.

### 3. 천연색TV의 일반적구성

천연색TV의 구성도를 그림 6-16에 주었다.

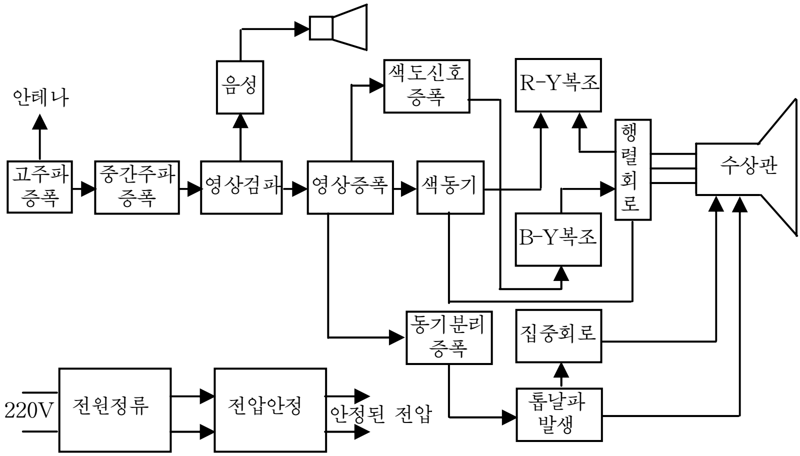



**그림 6-16. 천연색TV의 일반구성도**

그림 6-16으로부터 신호의 종합적인 흐름길은 다음과 같다.

안테나에 들어온 신호는 고주파증폭회로에서 선택되고 증폭된 다음 수상기의 고유한 주파수인 중간주파신호로 변환되여 중간주파증폭회로에 들어간다.

중간주파증폭회로는 3~4개 단으로 구성되여있으며 들어온 신호를 검파에 필요한 준위까지 증폭하여 검파단에 넘긴다.

영상검파회로에서는 먼저 6.5㎒의 음성제2중간주파신호를 갈라내여 음성회로에 보낸 다음 영상중간주파신호로부터 고유한 합성영상신호를 뽑아내여 여러개의 단으로 구성된 영상증폭회로에 보낸다.

영상증폭회로에서는 먼저 합성동기신호를 검출하여 동기회로에 보낸 다음 1단증폭하여 색도신호를 갈라 색도회로에 보낸다. 다음 Y지연선과 제2, 제3영상증폭회로를 거쳐 역행렬회로에 밝기신호성

분 $E_Y$를 보낸다.

색대역증폭회로에서는 대역려파기를 통해 4.43㎒ 근방의 색신호만을 갈라내여 증폭한 다음 색동기신호를 선별하여 색동기회로에 보내고 동기검파를 진행하여 색차신호 $E_R$-$E_Y$, $E_B$-$E_Y$를 복조한다.

색동기회로에서는 기준부반송파의 색동기임풀스를 리용하여 4.43㎒의 발진주파수와 위상을 조절함으로써 색차신호의 복조가 원만히 진행되도록 한다.

역행렬회로에서는 세 신호 $E_Y$, $E_R$-$E_Y$, $E_B$-$E_Y$로부터 3원색신호 $E_R$, $E_G$, $E_B$를 만들어내여 수상관회로를 려진시킨다.

한편 영상증폭회로에서 갈라진 동기신호는 동기분리회로에서 수평동기신호와 수직동기신호로 갈라진 다음 해당 톱날파발생회로를 조정하여 색수상관의 전자기편향선륜에 톱날파전류가 흐르게 한다. 이 전류는 영상신호에 따라 변하는 전자속의 방향을 조절함으로써 송상측과 동기를 맞추어 주사선을 일치시킨다.

색수상관에는 25㎸의 양극전압을 걸어주며 음극에서 방출되는 전자속을 세게 끌어당긴다. 영상신호에 따르는 전자속전류는 가림판을 지나 형광판에 부딪치면서 색영상을 만들게 된다.

### 1) 동조기

동조기는 LC공진회로, 고주파증폭회로, 국부발진회로, 혼합회로로 이루어져있다.(그림 6-17)

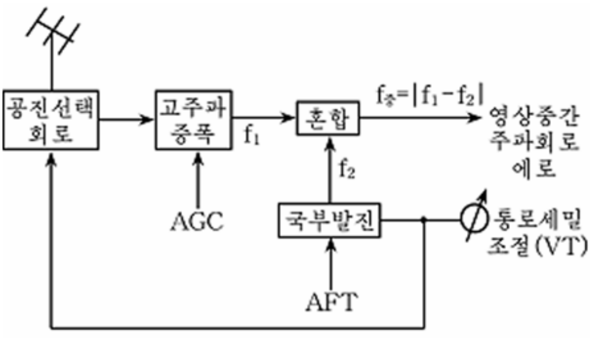



그림 6-17. 동조기의 구성도

동조기에서 기본은 안테나로부터 수신된 방송국의 신호를 그대로 증폭하여 보내지 않고 중간주파신호로 변환하는것이다.

수신되는 신호들의 주파수는 각이하므로 그대로 증폭하여 넘기자면 뒤단의 회로들에서 각이한 주파수에 대한 흡수회로와 공진회로들을 리용해야 하므로 상당히 복잡해진다.

그러나 안테나에 수신된 TV신호를 중간주파신호로 변환하면 결합단의 공진회로들이 일정해지고 조종이 간단해지며 신호의 증폭효률도 훨씬 높일수 있다.

이것은 혼합회로와 국부발진회로에 의해 실현된다.

고주파증폭단에서 넘어온 신호 $f_1$는 국부발진기에서 만들어지는 $f_2$신호와 혼합단에서 혼합되여 그의 차주파수인 중간주파수 $f_{중} =|f_1-f_2|$로 변환된다.

우리 나라 천연색TV의 중간주파수는 38㎒이다.

각이한 주파수의 신호에 대한 선택과 필요한 국부발진주파수의 보장은 가변용량2극소자의 련동가변조절에 기초한 통로세밀조종으로 실현하고있다.

동조기의 수신통로대역은 초단파(VHF)대역의 1~12통로와 극초단파(UHF)대역의 넓은 범위에 달하며 통로대역절환기에 의해 임의의 통로를 선택, 탐색할수 있게 된다.

매 통로대역의 세밀조정은 0V～33V까지 변하는 통로세밀전압(VT)에 의해 실현된다.

동조기에는 이외에도 수신신호의 세기가 변하는데 따라 고주파증폭회로의 증폭도를 자동적으로 조절하는 자동증폭조절(자증조-AGC)전압과 외적요인에 의해 변동하는 국부발진주파수를 안정시키는 자동주파수조절(자주조-AFT)신호전압이 걸린다.

### 2) 영상중간주파증폭회로

영상중간주파증폭회로에서는 동조기로부터 들어온 수㎷의 중간주파신호를 필요한 대역너비(약 6㎒)를 보장하면서 검파에 필요한 크기인 수V정도까지 증폭하게 된다.

이를 위하여 영상중간주파증폭회로는 대역려파기(걸면파려파소자)와 함께 3~4개의 증폭단으로 구성되여있으며 그 출구에 영상검파단과의 결합을 위한 출구동조회로가 포함되게 된다.(그림 6-18)

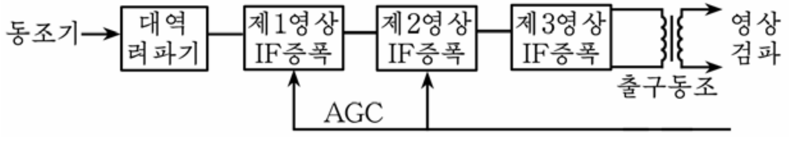



그림 6-18. 영상중간주파증폭회로의 구성도

천연색TV에서는 영상중간주파증폭단들을 모두 집적회로내부에서 구성하였으며 다만 입출구결합을 위한 단자와 요소를 외부에 배치하여 그 조종을 간단하게 하도록 설계하고있다.

영상중간주파증폭회로의 또 하나의 특징은 음성중간주파신호를 1/10~1/20정도로 세게 잦아들게 하는것이다.

영상중간주파신호속에는 음성중간주파신호가 함께 포함되여 있으며 음성신호가 영상신호속에 포함되게 되면 화면의 질에 나쁜 영향을 주게 된다. 음성중간주파신호세력을 약화시키자면 단사이의 결합에서 신호의 주파수통과대역을 제한시켜야 한다.

대역려파기는 바로 이러한 요구성도 만족시켜 설계된것이다.

영상중간주파증폭회로에는 또한 동조기에서와 같이 자동증폭조절전압을 주어 화면의 대조도가 외적요인에 의해 달라지는것을 자동적으로 막아준다.

### 3) 영상검파회로

영상검파회로는 진폭변조된 영상피변조파신호로부터 영상신호를 복조하기 위한 회로로서 그림 6-19에서와 같이 2극소자를 리용한 진폭검파회로로 되여있다.

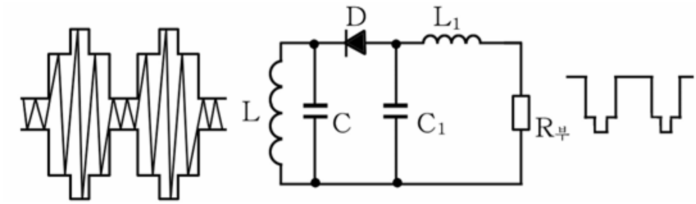



그림 6-19. 영상검파회로와 파형

영상중간주파증폭단과의 결합줄토리인 L에 나타난 대칭상태의 영상중간주파신호는 2극소자 D를 거쳐 신호의 웃부분이 잘린 비대칭파형으로 된 다음 축전기 $C_1$를 통하여 고주파성분이 빠진 상태에서 순수한 영상신호성분만이 부하저항 $R_{부}$에 걸리게 된다.

검파된 영상신호는 영상중간주파증폭회로에서 넘어온 음성중간주파신호를 보충적으로 더 감쇠시키기 위한 흡수회로(압전형려파소자)를 통해 다음단인 영상증폭회로에 넘어가게 된다.

### 4) 영상증폭회로

영상증폭회로는 영상신호를 충분히 증폭하여 수상관을 려진하기 위한 회로로서 3~4개의 증폭단으로 구성되여있으며 합성영상신

호의 $E_Y$증폭흐름길에 해당되게 된다.(그림 6-20)

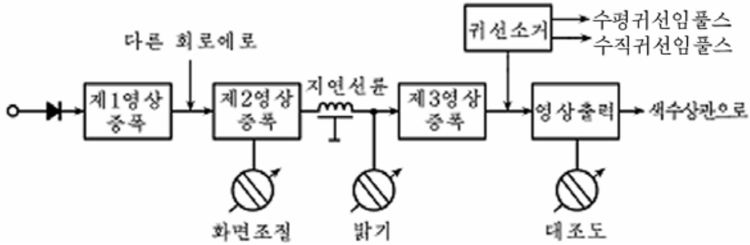



그림 6-20. 영상증폭회로의 구성도와 파형

그림 6-20에서 제1영상증폭회로는 방사극반복기로 구성되여 있어 검파된 신호를 다음 단에 넘기는것과 함께 색신호재생회로, 동기회로 등에 분배하는 역할을 한다.

제2영상증폭회로와 제3영상증폭회로는 영상증폭을 진행하는것과 함께 영상의 질을 높이기 위한 여러가지 보충적인 기능을 수행하며 특히 밝기와 대조도, 화면질 등의 조절을 수행할수 있는 보조회로들과 련결되게 된다.

한편 색신호재생회로로 들어가는 신호의 다른 부분은 색대역려파회로를 통과하면서 지연되므로 역행렬회로에 도착하는 이 색신호와 일치시키기 위하여 영상증폭회로의 일정한 부분에 0.6~0.8㎲의 지연선륜을 넣게 된다.

제3영상증폭회로의 출구에는 귀선소거회로를 넣어 영상신호의 귀선부분이 다음단으로 넘어가지 못하도록 한다.

만일 이 부분이 그대로 통과되면 수상관의 화면에 수평 및 수직귀선신호에 해당한 흰줄들이 가로질러 무질서하게 나타나며 화면의 질을 떨구는 결과를 초래하게 된다. 이런 현상을 없애기 위하여 귀선소거회로에서는 영상신호의 귀선부분이 지나갈 때 반대방향의 수평 및 수직귀선임풀스를 넣어주어 귀선준위를 수상관의 음극준위보다 더 높여주게 된다.

영상증폭회로에는 또한 동조기와 영상중간주파증폭회로에 보내는 자증조(AGC)전압을 만들기 위한 회로, 색신호의 장애를 없애기 위한 4.43㎒흡수회로, TV화면의 평균밝기를 일정하게 하기 위한 직류분재생회로가 들어가게 된다.

**5) 색신호계통회로**

색신호계통회로는 천연색TV에서 기본을 이룬다고 볼수 있다.(그림 6-21)

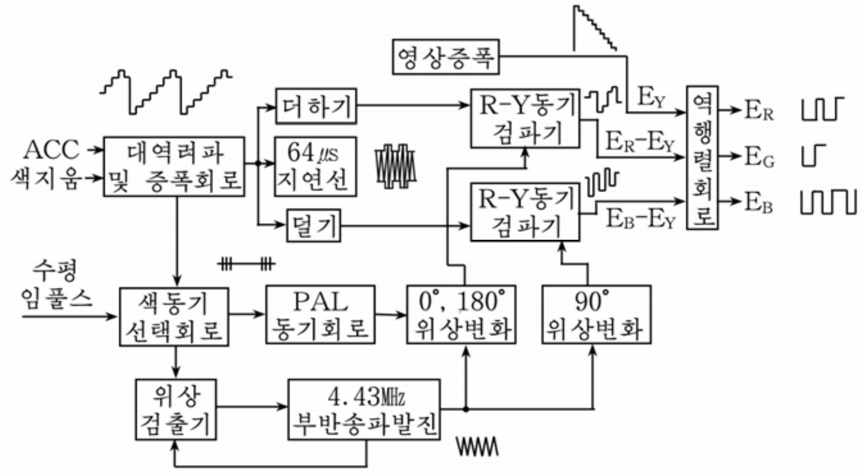



그림 6-21. 색신호계통도

색대역려파기를 통과한 색신호(이 신호는 방송국에서 만들어낸 반송색신호 $E_{색}$이다.)의 일부는 색동기선택회로로 넘어가며 나머지는 색복조회로로 들어간다.

색복조회로에서는 64㎲ 지연선(1H 지연선 또는 한 주사선지연선이라고도 한다.)을 거쳐 이미 들어온 신호와 방금 들어온 신호들이 더하기와 덜기회로에서 혼합되여 반송색차신호 $\pm(E_R-E_Y)\cos\omega t$와 $(E_B-E_Y)\sin\omega t$로 되며 색복조를 위한 동기검파회로에 넘어간다.

이것은 전송통로에서의 색상의 이지러짐을 막기 위하여 방송국에서 $E_R-E_Y$신호의 위상을 매 주사선마다 180°절환시켜 보내는데 대한 대책으로서 PAL방식의 TV에서만 볼수 있는 현상이다.

한편 색동기회로에서는 수평동기신호에 포함되여 있는 색동기임풀스를 뽑아내여 위상검출회로와 함께 4.43㎒의 국부부반송파발진기를 조종함으로써 발진되는 부반송파의 주파수와 위상을 송신측과 일치시킨다. 발진기에서 나온 부반송파는 0°, 180°위상변환기와 90°위상변환기를 거쳐 각각 $E_R-E_Y$동기검파회로와 $E_B-E_Y$동기검파회로에 들어간다.

동기검파회로들에서는 더하기와 덜기회로를 거쳐 들어온 신호들이 위상변환된 4.43㎒의 부반송파에 의해 동기검파되며 그 출구에는 색차신호들인 $E_R-E_Y$, $E_B-E_Y$신호가 나온게 된다.

이 신호들은 $E_Y$신호와 함께 역행렬회로에 들어가 3원색신호 $E_R$, $E_G$, $E_B$로 변환되여 나와 출력증폭되여 수상관의 음극에 걸리게 된다.

### 6) 수평전개회로

수평편향회로는 수평동기신호에 동기된 15 625㎐의 톱날파전류를 수평편향선륜에 흐르게 하여 색수상관의 전자속을 좌우로 전개하도록 하기 위한 회로이다.

수평편향회로의 구성도를 그림 6-22에 주었다.

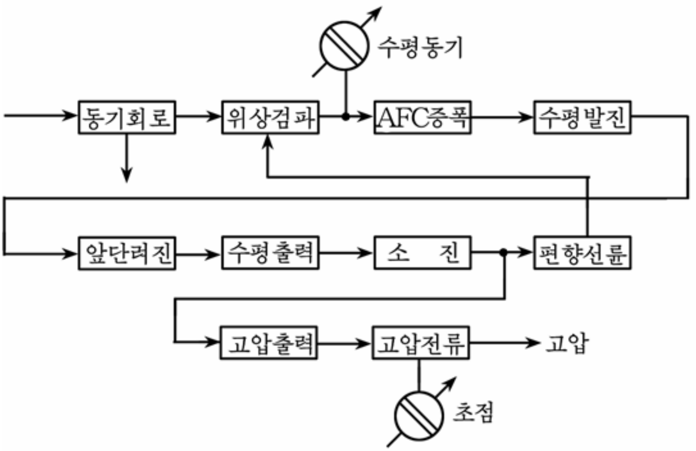



그림 6-22. 수평편향회로의 구성

**동기분리회로** 합성영상신호로부터 복합동기신호를 증폭하여 거기서 수평동기신호를 갈라내여 위상검파회로에 준다. 그리고 수직동기신호를 갈라내여 수직발진회로에 보낸다.

**위상검출회로** 동기분리회로에서 온 수평동기신호와 수평출력회로에서 온 수평임풀스의 위상차를 검출하고 그 위상차에 따라 조절전압을 발생한다.

**자동주파수조정(AFC)회로-** 위상검출회로에서 온 조절전압을 증폭하여 다음단의 수평발진회로에 주어 발진주파수를 조절한다.

**수평발진회로** 수평동기신호에 동기된 15 625㎐의 수평임풀스를 발진한다.

**수평려진회로** 수평발진에서 온 수평임풀스를 증폭하여 그것을 다음단의 수평출력과 고압출력에 준다.

**수평출력회로** 수평려진에서 온 수평임풀스에 의하여 수평출력소자가 열렸다, 닫겼다 하면서 병렬축전기와 결합하여 수평편향선륜에 톱날파전류를 흐르게 한다.

**고압출력회로** 색수상관의 양극에 걸어주는 20~25㎸의 높은 전압을 얻기 위하여 고압임풀스를 만든다.

**고압정류회로** 고압출력에서 온 고압임풀스를 정류하여 색수상관에 주는 고압직류전압을 얻는다.

**7) 수직전개회로**

수직편향회로는 수직동기신호에 동기된 50Hz의 수직톱날파전류를 편향선륜에 흐르게 하여 색수상관의 전자속을 우에서 아래로 전개하도록 하기 위한 회로이다.

수직편향회로의 구성도를 그림 6-23에 주었다.

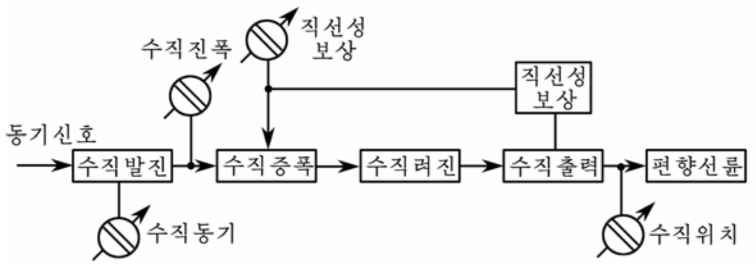



그림 6-23. 수직편향회로의 구성

이 회로는 수직톱날파를 발생하는 수직발진회로, 발진한 톱날파를 증폭하는 수직증폭회로, 수직려진, 수직출력회로로 구성되여있다.

**8) 집중회로**

천연색수상관의 R, G, B전자총에서 나오는 전자속이 화면의 모든곳에서 R, G, B의 한조의 형광체를 정확히 때리도록 하기 위한 회로이다.

**9) 음성회로**

음성회로는 영상중간주파(38㎒)와 음성중간주파(31.5㎒)의 차로 만들어진 제2음성중간주파수 6.5㎒에 포함되여있는 음성신호를 갈라내여 고성기를 울려주기 위한 전류를 얻어내는 회로이다.

음성회로의 구성도를 그림 6-24에 주었다.

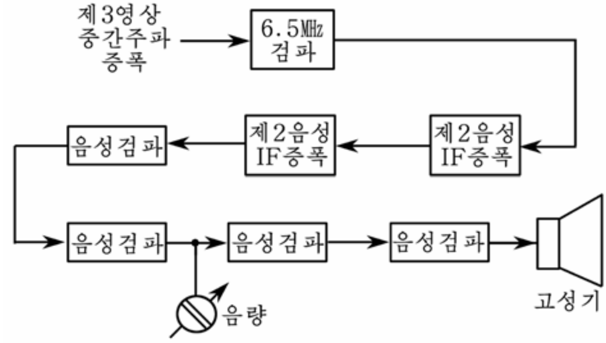



그림 6-24. 음성회로의 구성도

**6.5㎒검파회로** 제3영상중간주파증폭회로에서 나오는 영상중간주파와 음성중간주파와의 차주파수인 제2음성중간주파수 6.5㎒를 갈라내는 회로이다.

**음성중간주파증폭회로** 6.5㎒의 제2음성중간주파수를 진폭제한 및 증폭하는 회로이다.

**음성검파회로** 6.5㎒의 제2음성중간주파수를 복조하여 음성신호를 재생하는 회로이다.

**음성증폭회로** 음성신호를 증폭하는 회로이다.

**음성출력회로** 음성신호를 증폭하여 고성기를 울릴수 있는 전력을 얻어내는 회로이다.

**10) 전원회로**

전원회로는 교류전압을 정류하여 천연색수상관의 매 회로에 필요한 여러가지 직류전압을 걸어주기 위한 회로이다.

**11) 자동세밀(AFT)회로**

자동세밀조절회로는 TV가 동작하고있을 때에 동조기의 국부발진주파수의 변동을 자동적으로 보상하기 위한 회로이다.

**12) 자동탈자회로**

천연색수상관의 외부자기마당의 영향을 받거나 또는 수상관의 가림판, 초점격자식가림줄, 수상관둘레의 금속부분들이 어떤 원인에 의하여 자화되면 색순도가 나빠진다.

이것을 막기 위하여 천연색TV의 전원을 넣을 때마다 자동적으로 금속부분의 자성을 지우는 자동탈자회로가 쓰인다.


**전자공학기초(중학교 6학년용)**

집 필 **류동일, 류창렬, 정성국**

심 사 **심의위원회**

편집 및 콤퓨터편성 **리혜영**

장 정 **리혜영** 교 정 땠뮛춘

---

낸 곳 **교육도서출판사**

인쇄소 겻疆눅볜箇사결샤

인 쇄 주체101(2012)년 월 일 발 행 주체101(2012)년 월 일

---

교-12-보-566 값15원